

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL**

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIESTIRENO POR VÍA SECA

AUTORES:

PAOLA ESTEFANÍA FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

NICOLÁS ALEXANDER RUIZ BEDOYA

DIRECTOR: ING. GUSTAVO YANEZ

QUITO, 2018

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios quién ha sido mi guía en toda la trayectoria de mi vida universitaria.

A mis padres Marcia Rodríguez y Rafael Fernández por todo el sacrificio, las enseñanzas, valores y apoyo brindado incondicionalmente.

A mis hermanos Patricio Fernández y Carla Fernández por siempre ser incondicionales.

A mi compañero de tesis y amigo Nicolás Ruíz por su paciencia, dedicación y esfuerzo puesto para alcanzar esta meta juntos.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, así como a mi director de tesis Ing. Gustavo Yáñez y correctores Ing. Fredi Paredes, Ing. Patricio Castro por el tiempo, la paciencia y su conocimiento.

A todos los profesores que me acompañaron en toda la carrera por su conocimiento impartido y amistad.

Y a todos mis amigos/as que siempre estuvieron presentes e hicieron este trayecto una de las experiencias más lindas de mi vida.

Paola Estefanía Fernández Rodríguez

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios y a mis padres Boris Ruiz y Paulina Bedoya por siempre brindarme su apoyo incondicional para alcanzar mis sueños, a mis hermanas Carolina Ruiz y Paulette Ruiz por siempre apoyarme y darme fuerzas para siempre seguir adelante, a mi papi Nacho Bedoya por ser el ejemplo y guía que todo ser humano necesita en su vida, a mis abuelitas Gloria Suarez, Cumandá Martínez y Sonia Martínez por todo su amor, a todos mis amigos que me acompañaron a lo largo de la carrera especialmente a mí compañera de tesis Paola Fernández por su paciencia, esfuerzo y dedicación para lograr alcanzar nuestras metas, a todos los profesores que nos formaron académicamente y finalmente a nuestro director de tesis el Ing. Gustavo Yáñez y a nuestros correctores el Ing. Fredi Paredes y el Ing. Patricio Castro por todas sus guías y consejos para culminar la carrera.

Nicolás Alexander Ruíz Bedoya

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis padres Rafael Fernández y Marcia Rodríguez porque este triunfo también es de ustedes y sin ustedes esto no sería posible, a mi hermano Patricio Fernández por siempre estar ahí, por toda su ayuda y compañía en las noches de vela, a mi hermana Carla Fernández por brindarme siempre su apoyo y consejos y a mis sobrinos Isaac y Nicole ustedes pintan mis días de colores.

Los amo infinitamente.

Paola Estefanía Fernández Rodríguez

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico principalmente a mis padres Boris Ruiz y Paulina Bedoya y a mis hermanas Carolina Ruiz y Paulette Ruiz por siempre creer en mí.

Nicolás Alexander Ruíz Bedoya

RESUMEN

En el presente trabajo de disertación de grado se realizará en base a pruebas de laboratorio la comparación de las propiedades mecánicas entre una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con poliestireno, material que se ha escogido como modificante por sus diferentes características, además de ser accesible y económico, el proceso para modificar la mezcla es por vía seca, mediante la incorporación del poliestireno en porcentajes del 0%, 10%, 20%, 30% y 40% en función del volumen del agregado de la mezcla.

Se emplea el método Marshall y se realizan las comparaciones con el objetivo de determinar si el poliestireno mejora o no las propiedades mecánicas, para que en un futuro se pueda proponer al poliestireno como una alternativa para mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica y su vida útil.

Se abarca brevemente la descripción y origen de los agregados pétreos y del material bituminoso usados en esta investigación, así como se describe todos los ensayos realizados para comprobar si los materiales utilizados cumplen o no con las especificaciones necesarias para mezclas asfálticas.

Finalmente se exponen e interpretan los resultados obtenidos, así como se realizan recomendaciones sobre cómo mejorar el proceso de modificación de la mezcla original para futuras investigaciones.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico, social y tecnológico de un país está ligado directa o indirectamente a la infraestructura vial que posee, una red vial eficiente asegura la comunicación entre ciudades y pueblos mejorando el comercio, procesos productivos e interconexión entre los puntos de producción y consumo, por otro lado si las vías son de calidad los ciudadanos se movilizan de manera segura y confortable, además una red vial construida de manera eficiente, con materiales de calidad asegura que cumpla con su vida útil prevista ahorrando en costos de mantenimiento y reparaciones por mal estado de las vías, por esto es necesario realizar investigaciones que busquen mejorar las propiedades de la estructura de los pavimentos, ya sea mejorando los procesos constructivos o mejorando los materiales que componen la estructura del pavimento.

Con anterioridad ya se han realizado investigaciones donde se ha buscado mejorar las propiedades de las mezclas asfálticas, ya sea modificando el asfalto o modificando los agregados pétreos que componen la mezcla, en ambos casos se busca que los materiales modificantes sean accesibles y fáciles de producir, además ya que en la actualidad en la industria de la construcción en la mayoría de normativas y especificaciones ya se considera que los materiales y procesos constructivos deben ser amigables con el medio ambiente, se debe buscar que los materiales modificantes sean reciclables y biodegradables.

En esta investigación se ha optado por modificar mezclas asfálticas en caliente mediante la incorporación de poliestireno como material modificante ya que es accesible, económico y posee propiedades que pueden ser útiles para una mezcla asfáltica como la resistencia a agentes químicos, poca absorción de agua, buena estabilidad térmica, resistencia a ácidos y solventes, además una característica muy importante es que es amigable con el medio ambiente al ser 100% reciclable.

Se añadirá porcentajes de poliestireno del 0%, 10%, 20%, 30% y 40% en función del volumen del agregado de la mezcla, se realizará ensayos con el método Marshall para obtener la estabilidad y el flujo de las mezclas modificadas y comprobar si se mejoraron las propiedades mecánicas.

Para asegurar que los materiales usados en esta investigación son de calidad, se realizará ensayos de caracterización a los agregados pétreos como granulometría, gravedad específica, contenido de humedad, equivalente de arena, abrasión y resistencia a los sulfatos en cambio al material bituminoso (AC-20) se realizará ensayos de ductilidad, penetración, viscosidad, punto de ablandamiento, horno de película delgada rodante (envejecimiento acelerado), punto de inflamación y combustión, para comprobar si cumple con las especificaciones para ser usados en mezclas asfálticas.

Se espera que la incorporación del poliestireno a la mezcla asfáltica mejore la estabilidad y la resistencia a las cargas del tránsito vehicular, así como la durabilidad y mejorar el tiempo de vida útil.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Comparar las propiedades mecánicas y el comportamiento entre una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con poliestireno en caliente por vía seca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar si el poliestireno sirve como material para mejorar las propiedades de las mezclas asfálticas.
- Encontrar el porcentaje óptimo de poliestireno que proporciona los mejores beneficios a las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica por vía seca.
- Considerar los posibles beneficios mecánicos de la mezcla asfáltica con poliestireno expandido.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO I: DEFINICIONES DE LOS MATERIALES | 16 |
| 1.1 Materiales Pétreos..... | 16 |
| 1.1.1 Procedencia de los Materiales | 17 |
| 1.2 Asfalto..... | 17 |
| 1.2.1 Procedencia del Asfalto | 18 |
| 1.2.2 Cemento Asfáltico AC-20 | 18 |
| 1.3 Poliestireno | 20 |
| 1.3.1 Proceso de fabricación..... | 21 |
| CAPÍTULO II: REALIZACIÓN DE ENSAYOS | 22 |
| 2.1 Ensayos a los materiales granulares..... | 22 |
| 2.1.1 Granulometría..... | 22 |
| 2.1.2 Gravedad específica de los agregados..... | 22 |
| 2.1.3 Contenido de Humedad..... | 22 |
| 2.1.4 Abrasión | 23 |
| 2.1.5 Equivalente de Arena | 23 |
| 2.1.6 Durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos | 23 |
| 2.2 ENSAYOS AL MATERIAL BITUMINOSO AC-20 | 24 |
| 2.2.1 Gravedad Específica..... | 24 |
| 2.2.2 Ductilidad | 24 |
| 2.2.3 Viscosidad | 25 |

| | |
|--|----|
| 2.2.4 Penetración | 26 |
| 2.2.5 Punto de inflamación y combustión | 26 |
| 2.2.6 Punto de ablandamiento | 26 |
| 2.2.7 Horno de película delgada rodante | 27 |
| CAPÍTULO III: MEZCLAS ASFÁLTICAS | 30 |
| 3.1 PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS | |
| COMPACTADAS | 30 |
| 3.1.1 Gravedad Específica Bulk (Gsb)..... | 30 |
| 3.1.2 Gravedad Específica Aparente (Gsa) | 30 |
| 3.1.3 Gravedad Específica Efectiva (Gse) | 31 |
| 3.1.4 Vacíos de aire (Va)..... | 31 |
| 3.1.5 Vacíos en el agregado mineral (VMA). | 31 |
| 3.1.6 Vacíos llenos de asfalto (VFA). | 31 |
| 3.1.7 Contenido de asfalto efectivo (Pbe). | 31 |
| 3.2 MÉTODO MARSHALL PARA DISEÑO DE MEZCLAS | 31 |
| 3.2.1 Procedimiento de prueba Marshall..... | 34 |
| 3.2.2 Determinación de la gravedad específica Bulk. | 34 |
| 3.2.3 Prueba de estabilidad y flujo. | 35 |
| 3.2.4 Densidad y análisis de vacíos..... | 36 |
| 3.3 MEZCLA ORIGINAL..... | 38 |
| 3.3.1 Porcentaje óptimo de asfalto. | 39 |

| | |
|---|----|
| 3.3.2 Interpretación de los datos..... | 41 |
| 3.4 MEZCLA MODIFICADA | 47 |
| 3.4.1 Porcentaje óptimo de poliestireno. | 48 |
| 3.4.2 Interpretación de los datos..... | 48 |
| CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 54 |
| 4.1 Conclusiones | 54 |
| 4.2 Recomendaciones | 56 |
| BIBLIOGRAFÍA | 58 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| <i>Figura 1-1: Ubicación Procedencia de los Materiales. Tomado del Google Earth.....</i> | <i>17</i> |
| <i>Figura 1-2: Ubicación Procedencia del Asfalto. Tomado del Google Earth.</i> | <i>18</i> |
| <i>Figura 2-1: Ensayo gravedad específica.</i> | <i>24</i> |
| <i>Figura 2-2: Ensayo de ductilidad.....</i> | <i>25</i> |
| <i>Figura 2-3: Ensayo de viscosidad.</i> | <i>25</i> |
| <i>Figura 2-4: Ensayo de punto de ablandamiento.</i> | <i>27</i> |
| <i>Figura 3-1 Preparación de la mezcla.....</i> | <i>33</i> |
| <i>Figura 3-2 Prueba de estabilidad y flujo (Marshall).</i> | <i>35</i> |
| <i>Figura 3-3 Muestra suelta (Gravedad específica teórica máxima).</i> | <i>36</i> |
| <i>Figura 3-4: Recipiente de vacío calibrado</i> | <i>37</i> |
| <i>Figura 3-5 Recipiente de vacío sumergido a 25°C.</i> | <i>37</i> |
| <i>Figura 3-6 Gráfica porcentaje de asfalto vs Densidad Bulk</i> | <i>43</i> |
| <i>Figura 3-7: Gráfica porcentaje de asfalto vs Estabilidad.....</i> | <i>43</i> |

| | |
|--|----|
| <i>Figura 3-8: Gráfica porcentaje de asfalto vs Vacíos en el agregado mineral.</i> | 44 |
| <i>Figura 3-9: Gráfica porcentaje de asfalto vs Vacíos llenos de asfalto.</i> | 45 |
| <i>Figura 3-10: Gráfica porcentaje de asfalto vs Vacíos de aire.</i> | 45 |
| <i>Figura 3-11: Gráfica porcentaje de asfalto vs Flujo.</i> | 46 |
| <i>Figura 3-12: Relación de volumen con probeta.</i> | 47 |
| <i>Figura 3-13: Gráfica porcentaje de poliestireno vs Densidad Bulk.</i> | 49 |
| <i>Figura 3-14: Gráfica porcentaje de poliestireno vs Estabilidad.</i> | 49 |
| <i>Figura 3-15: Gráfica porcentaje de poliestireno vs Vacíos en el agregado mineral.</i> | 50 |
| <i>Figura 3-16: Gráfica porcentaje de poliestireno vs Vacíos llenos de asfalto.</i> | 51 |
| <i>Figura 3-17: Gráfica porcentaje de poliestireno vs vacíos de aire.</i> | 51 |
| <i>Figura 3-18: Gráfica porcentaje de poliestireno vs flujo.</i> | 52 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| <i>Tabla 1-1: Clasificación para asfaltos AC para una penetración comprendida entre 200 dmm a 20 dmm</i> | 19 |
| <i>Tabla 1-2: Clasificación para asfaltos AC para una penetración comprendida entre 220 dmm a 40 dmm</i> | 19 |
| <i>Tabla 1-3: Clasificación para asfaltos AR sometidos al ensayo de horno de película delgada rodante</i> | 20 |
| <i>Tabla 2-1: Requisitos de cementos asfálticos, para los tipos comprendidos de 200 dmm 20 dmm de penetración</i> | 28 |
| <i>Tabla 2-2: Resumen caracterización del asfalto (AC-20).</i> | 28 |
| <i>Tabla 2-3: Resumen caracterización de los agregados.</i> | 29 |
| <i>Tabla 3-1: Temperatura de mezclado y compactación.</i> | 32 |
| <i>Tabla 3-2: Proporciones de mezcla requerida (Agregados).</i> | 38 |

| | |
|--|----|
| Tabla 3-3: <i>Porcentaje de mezcla</i> | 39 |
| Tabla 3-4: <i>Coeficiente de acuerdo al porcentaje del agregado mineral pasante del tamiz (No.200).</i> | 40 |
| Tabla 3-5: <i>Criterios para el diseño de Mezclas Marshall.</i> | 41 |
| Tabla 3-6: <i>Porcentaje de vacíos en los agregados según el tipo de mezcla</i> | 42 |
| Tabla 3-7: <i>Cuadro de Resumen (Mezcla Original.)</i> | 42 |
| Tabla 3-8: <i>Resumen de resultados porcentaje óptimo de asfalto</i> | 46 |
| Tabla 3-9: <i>Relación de volúmenes.</i> | 47 |
| Tabla 3-10: <i>Cuadro de Resumen (Mezcla Modificada).</i> | 48 |
| Tabla 3-11: <i>Resumen de resultados porcentaje óptimo de poliestireno</i> | 53 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1: Granulometría (Agregado Fino). | 61 |
| Anexo 2: Granulometría (Agregado Intermedio). | 62 |
| Anexo 3: Granulometría (Agregado Grueso). | 63 |
| Anexo 4: Gravedad específica y absorción (Agregado Fino)..... | 64 |
| Anexo 5: Gravedad específica y absorción (Agregado Intermedio). | 65 |
| Anexo 6: Gravedad específica y absorción (Agregado Grueso). | 66 |
| Anexo 7: Contenido de Humedad. | 67 |
| Anexo 8: Abrasión (Agregado Grueso)..... | 68 |
| Anexo 9: Abrasión (Agregado Intermedio)..... | 69 |
| Anexo 10: Equivalente de Arena..... | 70 |
| Anexo 11: Durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos..... | 71 |
| Anexo 12: Gravedad Específica material bituminoso AC-20. | 72 |

| | |
|--|----|
| Anexo 13: Ductilidad material bituminoso AC-20. | 73 |
| Anexo 14: Viscosidad material bituminoso AC-20..... | 74 |
| Anexo 15: Penetración del material bituminoso AC-20..... | 75 |
| Anexo 16: Punto de inflamación y combustión del material bituminoso AC-20..... | 76 |
| Anexo 17: Punto de Ablandamiento del material bituminoso AC-20..... | 77 |
| Anexo 18: Horno de película delgada rodante (RTFO). | 78 |
| Anexo 19: Ductilidad (RTFO)..... | 79 |
| Anexo 20: Viscosidad (RTFO)..... | 80 |
| Anexo 21: Mezcla de agregados..... | 81 |
| Anexo 22: Curva granulométrica de la mezcla de agregados. | 82 |
| Anexo 23: Carta normalizada de viscosidad - temperatura para asfalto. | 83 |
| Anexo 24: Ensayo Marshall 5.0% de asfalto..... | 84 |
| Anexo 25: Ensayo Marshall 5,5% de asfalto..... | 85 |
| Anexo 26: Ensayo Marshall 6.0% de asfalto..... | 86 |
| Anexo 27: Ensayo Marshall 6,5% de asfalto..... | 87 |
| Anexo 28: Ensayo Marshall 7.0% de asfalto..... | 88 |
| Anexo 29: Ensayo Marshall (briquetas %óptimo de asfalto). | 89 |
| Anexo 30: Cálculos ensayo Marshall (% óptimo de asfalto). | 90 |
| Anexo 31: Ensayo Marshall 0% Poliestireno. | 91 |
| Anexo 32: Ensayo Marshall 10% Poliestireno. | 92 |
| Anexo 33: Ensayo Marshall 20% Poliestireno. | 93 |
| Anexo 34: Ensayo Marshall 30% Poliestireno. | 94 |
| Anexo 35: Ensayo Marshall 40% Poliestireno. | 95 |
| Anexo 36: Ensayo Marshall (briquetas %óptimo de poliestireno)..... | 96 |
| Anexo 37: Cálculos ensayo Marshall (% óptimo de poliestireno). | 97 |

| | |
|--|-----|
| Anexo 38: Gravedad específica máxima teórica (5,0% asfalto). | 98 |
| Anexo 39: Gravedad específica máxima teórica (5,5% asfalto). | 99 |
| Anexo 40: Gravedad específica máxima teórica (6,0% asfalto). | 100 |
| Anexo 41: Gravedad específica máxima teórica (6,5% asfalto). | 101 |
| Anexo 42: Gravedad específica máxima teórica (7,0% asfalto). | 102 |
| Anexo 43: Gravedad específica máxima teórica (0% poliestireno). | 103 |
| Anexo 44: Gravedad específica máxima teórica (10% poliestireno). | 104 |
| Anexo 45: Gravedad específica máxima teórica (20% poliestireno). | 105 |
| Anexo 46: Gravedad específica máxima teórica (30% poliestireno). | 106 |
| Anexo 47: Gravedad específica máxima teórica (40% poliestireno). | 107 |

CAPÍTULO I: DEFINICIONES DE LOS MATERIALES

1.1 Materiales Pétreos

Se conoce como agregados pétreos o áridos al conjunto de materiales granulares inertes formados por rocas o arena que se encuentran en estado natural o que han sido sometidos a procesos mecánicos como trituración o simple clasificación por tamaños y que son utilizados en la industria de la construcción, ya sea en la elaboración de hormigón armado, morteros, mezclas asfálticas, bases y subbases para vías o carreteras y en muchas otras aplicaciones.

Existen varios parámetros de clasificación para los agregados pétreos, se pueden clasificar en función del tamaño de sus partículas, se conoce como arenas a los agregados con partículas con tamaños inferiores a 4 mm, y como gravas si los tamaños de las partículas son superiores a 4 mm, otra forma de clasificar es por su origen geológico, según esta clasificación pueden ser ígneos, metamórficos o sedimentarios (Bustillo, Durán, & Fueyo, 2014).

Los agregados pétreos que son usados en mezclas asfálticas deben ser de calidad ya que son el componente principal que va a soportar las cargas de los vehículos por lo que deben cumplir con los requisitos que demandan las especificaciones técnicas, por ello es necesario realizar ensayos de caracterización para comprobar si poseen o no las características necesarias para ser usado como componente de mezclas asfálticas.

1.1.1 Procedencia de los Materiales

Los agregados pétreos utilizados en la presente investigación provienen de una cantera de Ambato, propiedad de la empresa Asfaltos y Pavimentos, ubicada en el sector Las Viñas a un costado del Paso Lateral, la empresa se dedica a la producción de agregados pétreos y mezclas asfálticas, los agregados pétreos se obtienen mediante un proceso de trituración, obteniéndose tres fracciones de material.



Figura 1-1: Ubicación Procedencia de los Materiales. Tomado del Google Earth.

1.2 Asfalto

El asfalto es un material aglomerante compuesto principalmente por bitumen el cual es un elemento derivado del petróleo que se obtiene mediante un proceso de destilación que permite separar al petróleo crudo en fracciones de la cuales se obtiene la fracción más pesada que es el asfalto, se caracteriza porque es un material con propiedades adhesivas, resistente, duradero y altamente impermeable, es ampliamente utilizado en pavimentación de vías y carreteras, revestimiento de obras hidráulicas o impermeabilización de edificios, se combina principalmente con agregados pétreos para formar mezclas asfálticas y permite que estas tengan una flexibilidad controlable y resistan la mayor parte de ácidos, álcalis y

sales, además el asfalto se caracteriza por ser una sustancia sólida o semisólida a temperaturas ambiente normales (Asphalt Institute, 2008).

1.2.1 Procedencia del Asfalto

El asfalto utilizado en la presente investigación fue obtenido de la Planta de Asfaltos de la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMOP), que es la encargada del mantenimiento vial del Distrito Metropolitano de Quito y se encuentra ubicada en el Km 4.5 de la Av. Interoceánica y Av. Simón Bolívar.

El tipo de asfalto utilizado es Cemento Asfáltico AC-20 que es característico en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente.



Figura 1-2: Ubicación Procedencia del Asfalto. Tomado del Google Earth.

1.2.2 Cemento Asfáltico AC-20

Los cementos asfálticos pueden clasificarse en función de la viscosidad que poseen a una temperatura de 60 °C y la distancia que penetra una aguja estándar en el ensayo de penetración, se utilizan las siglas AC (Asphalt Cement) para un asfalto original o convencional, y las siglas AR (Aged Residue) para asfaltos que han sido sometidos a ensayos de envejecimiento acelerado, en conjunto con las siglas correspondientes según el tipo de asfalto AC o AR se utilizan números de clasificación de acuerdo a la viscosidad.

De acuerdo con la anterior clasificación un cemento asfáltico AC -20 es aquel que para una penetración de 220 dmm a 40 dmm o una penetración de 200 dmm a 20 dmm tiene una viscosidad de 200 ± 40 Pascal segundo (Pa s) a una temperatura de 60 °C (NTE INEN 2515, 2010).

Tabla 1-1: *Clasificación para asfaltos AC para una penetración comprendida entre 200 dmm a 20 dmm*

| Tipo | Viscosidad a 60 °C Pascal segundo (Pa s) |
|-------------|---|
| AC-2.5 | 25 ± 5 |
| AC-5 | 50 ± 10 |
| AC-10 | 100 ± 20 |
| AC-20 | 200 ± 40 |
| AC-40 | 400 ± 80 |

Nota: Tomada de NTE INEN 2515, 2010, p. 3.

Tabla 1-2: *Clasificación para asfaltos AC para una penetración comprendida entre 220 dmm a 40 dmm*

| Tipo | Viscosidad a 60 °C Pascal segundo (Pa s) |
|-------------|---|
| AC-2.5 | 25 ± 5 |
| AC-5 | 50 ± 10 |
| AC-10 | 100 ± 20 |
| AC-20 | 200 ± 40 |
| AC-30 | 300 ± 60 |
| AC-40 | 400 ± 80 |

Nota: Tomada de NTE INEN 2515, 2010, p. 3.

Tabla 1-3: Clasificación para asfaltos AR sometidos al ensayo de horno de película delgada rodante

| Tipo | Viscosidad a 60 °C Pascal segundo (Pa s) |
|-------------|---|
| AR-100 | 100 ± 25 |
| AR-200 | 200 ± 50 |
| AR-400 | 400 ± 100 |
| AR-800 | 800 ± 200 |
| AR-1600 | 1600 ± 400 |

Nota: Tomada de NTE INEN 2515, 2010, p. 3.

1.3 Poliestireno

El poliestireno es un material plástico espumado que cuenta con una serie de características como son:

- Resistencia a modificaciones químicas y mecánicas a bajas temperaturas.
- Bajo punto de reblandecimientos.
- Escasa absorción de agua.
- Resistencia a los ácidos, álcalis y solventes.
- Baja densidad.
- Buena estabilidad térmica.
- Resistencia al envejecimiento.
- 100% reciclable

Estas características hacen que sea un material adecuado para aislamientos térmicos (Solís Jara, Lisperguer Muñoz, & Arencibia Silva, 2005).

1.3.1 Proceso de fabricación

El Poliestireno se obtiene de un polímero del estireno siendo la materia prima y este contiene pentano que es un agente expansor. Al ser un material plástico se deriva del petróleo y una vez procesado se obtiene subproductos como el etileno donde a partir de este obtenemos el estireno.

Sumando a este estireno con el agente expansor sufre un proceso de polimerización en un reactor con agua dando lugar al poliestireno expandible (Anape, 2015).

CAPÍTULO II: REALIZACIÓN DE ENSAYOS

2.1 Ensayos a los materiales granulares

2.1.1 Granulometría

El análisis granulométrico se usa principalmente para determinar la clasificación o gradación de materiales que van a ser o ya han sido utilizados como agregados en mezclas asfálticas o de hormigón, los resultados sirven para verificar el cumplimiento de distribución de tamaños de partícula requeridos por las diferentes especificaciones de mezclas con agregados, así como para proporcionar datos necesarios para el control de la producción de agregados que son utilizados en diferentes tipos de mezclas, la granulometría también sirve para obtener datos para relacionar porosidad y compactación de las mezclas (ASTM C136, 2014).

2.1.2 Gravedad específica de los agregados

La gravedad específica es la relación de la masa con el volumen absoluto del agregado, también se la puede expresar como la relación entre la densidad del agregado con la densidad del agua. Esta se usa para calcular el volumen ocupado por el agregado en las mezclas con asfalto (ASTM C127, 2015).

2.1.3 Contenido de Humedad

Se conoce como contenido de humedad de un agregado a la relación de la masa de agua contenida en los espacios de los poros del material, a la masa sólida de partículas del mismo material expresada en porcentaje, para muchos materiales el contenido de humedad es una de las propiedades más significativas que se usan para establecer una correlación entre el comportamiento de los agregados y sus otras propiedades, además se puede usar

para obtener relaciones entre el contenido de aire, agua o sólido de un material (ASTM C2216, 2010).

2.1.4 Abrasión

El propósito de este ensayo es determinar la degradación del agregado con un tamaño inferior a 37,5 mm, mediante la pérdida de masa por desgaste e impacto con la máquina de los Ángeles (ASTM C131, 2014).

“El valor de la degradación es utilizado como indicador de la calidad relativa o de la competencia de áridos y fuentes de áridos, que tienen composiciones mineralógicas similares.” (NTE INEN 860, 2011, pág. 4)

2.1.5 Equivalente de Arena

El propósito de este ensayo es indicar bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de finos y polvo de arcilla en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz #4 (4,75mm) (ASTM D 2419, 1991).

2.1.6 Durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos

Este ensayo tiene por objetivo estimar la solidez de los agregados cuando se someten a la intemperie en pavimentos, hormigón u otras aplicaciones, se trata de replicar la exposición a la intemperie mediante un proceso de inmersión repetida en soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio seguido de secado en horno para deshidratar parcial o completamente la sal que se encuentra en los poros del agregado, la fuerza expansiva interna, producto de la rehidratación de la sal al volver a sumergirse, simula la expansión del agua al congelarse, la información que brinda en ensayo es útil para tener un criterio sobre la solidez de los agregados cuando no se tiene registros previos de cómo reacciona a condiciones reales de la intemperie (ASTM C88, 2013).

2.2 ENSAYOS AL MATERIAL BITUMINOSO AC-20

2.2.1 Gravedad Específica

El propósito de este ensayo es determinar la densidad y densidad relativa de los materiales bituminosos mediante el uso de un picnómetro, se conoce como densidad a la masa por unidad volumen de un material, y como densidad relativa o gravedad específica a la relación de la masa de un volumen dado de un material a la masa del mismo volumen de agua a la misma temperatura, es necesario conocer estas propiedades de los materiales bituminosos ya que los valores de densidad sirven para convertir valores de volumen en unidades de masa y para corregir volúmenes medidos desde una temperatura cualquiera hasta una temperatura estándar (ASTM D70, 2017).



Figura 2-1: Ensayo gravedad específica.

2.2.2 Ductilidad

El ensayo de ductilidad es utilizado para medir una de las propiedades de tracción, permite medir la ductilidad de un asfalto para conocer si cumple con los requisitos de las especificaciones de mezclas asfálticas, los asfaltos dúctiles tienen mejores propiedades aglomerantes que los asfaltos que carecen de ductilidad (ASTM D113, 2017).



Figura 2-2: Ensayo de ductilidad.

2.2.3 Viscosidad

Se entiende por coeficiente de viscosidad a la relación entre el esfuerzo cortante aplicado y la velocidad de corte, este coeficiente es una medida de la resistencia de un líquido a fluir y a esta se la conoce como viscosidad, para la determinación de la viscosidad de un asfalto se hace uso de viscosímetros capilares al vacío a una temperatura de 60 °C, al determinar la viscosidad del asfalto a 60 °C permite caracterizar el comportamiento del flujo y obtener requisitos de temperatura para mezclado y compactación de mezclas asfálticas (ASTM D2171, 2010).



Figura 2-3: Ensayo de viscosidad.

2.2.4 Penetración

El ensayo de penetración sirve para determinar la dureza o consistencia del asfalto, los valores altos de penetración indican que el asfalto posee una consistencia más suave, la penetración en un material bituminoso se expresa como la distancia en décimas de milímetro que una aguja estándar penetra verticalmente a la muestra de asfalto, bajo condiciones conocidas de carga, tiempo y temperatura (ASTM D5, 2013).

2.2.5 Punto de inflamación y combustión

El punto de inflamación es una medida de la temperatura en la que una muestra de asfalto tiende a formar una mezcla inflamable con el aire del ambiente bajo las condiciones controladas en laboratorio, sirve como parámetro para definir materiales inflamables y combustibles, y se utiliza en las normas de seguridad para almacenaje y envío. Otra característica importante es que puede ser un indicador para detectar la presencia de materiales altamente volátiles e inflamables en materiales relativamente no volátiles o no inflamables.

El punto de combustión es una medida de la temperatura en la que una muestra de asfalto entra en combustión y se mantiene encendido, el propósito de este ensayo es medir y describir las propiedades del asfalto en respuesta al calor y una llama de prueba, pero no debe ser usado para evaluar el riesgo de incendio que puede provocar el asfalto sometido a calor o fuego (ASTM D92, 2016).

2.2.6 Punto de ablandamiento

El punto de ablandamiento se utiliza para clasificar a los bitúmenes, ya que indica la tendencia que tiene el material a fluir cuando se encuentra a temperaturas elevadas, por lo que se puede establecer la uniformidad de envíos que se puede obtener de un suministro de asfalto, se debe determinar el punto de ablandamiento por un método arbitrario y

claramente definido si se quiere que los resultados sean reproducibles, esto se debe principalmente a que los bitúmenes son materiales viscoelásticos que no poseen puntos de fusión claramente definidos, se caracterizan por que al aumentar la temperatura se vuelven más suaves y menos viscosos (ASTM D36, 2014).



Figura 2-4: Ensayo de punto de ablandamiento.

2.2.7 Horno de película delgada rodante

Este ensayo permite determinar el cambio aproximado en las propiedades del asfalto durante una mezcla convencional en caliente aproximadamente a una temperatura de 150 °C, según lo obtenido por la viscosidad y otras mediciones reológicas, como resultado del ensayo se produce un residuo que se aproxima a la condición que tiene el asfalto incorporado al pavimento, se puede usar para determinar el cambio de masa ó para medir la volatilidad del asfalto, si la temperatura de mezclado difiere apreciablemente de la temperatura promedio de 150 °C se pueden producir mayores o menores efectos sobre las propiedades originales del asfalto (ASTM D2872, 2012).

Tabla 2-1: *Requisitos de cementos asfálticos, para los tipos comprendidos de 200 dmm 20 dmm de penetración*

| Ensayo | Unidad | AC-2.5 | | AC-5 | | AC-10 | | AC-20 | | AC-40 | | Norma de ensayo |
|---|------------------------------------|--------------------|------|---------|------|----------|------|----------|-------|----------|-------|-----------------|
| | | Min. | Max. | Min. | Max. | Min. | Max. | Min. | Max. | Min. | Max. | |
| Viscosidad absoluta a 60 °C | Pa s ⁽⁴⁾ | 25 ± 5 | | 50 ± 10 | | 100 ± 20 | | 200 ± 40 | | 400 ± 80 | | ASTMD2171 |
| Viscosidad cinemática a 135 °C | mm ² s ⁻¹⁽⁵⁾ | 80 | -- | 110 | -- | 150 | -- | 210 | -- | 300 | -- | ASTMD2170 |
| Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s | dmm | 200 | -- | 120 | -- | 70 | -- | 40 | -- | 20 | -- | NTEINEN917 |
| Punto de inflamación | °C | 163 | -- | 177 | -- | 219 | -- | 232 | -- | 232 | -- | NTEINEN808 |
| w Solubilidad en tricloroetileno | % | 99,0 | -- | 99,0 | -- | 99,0 | -- | 99,0 | -- | 99,0 | -- | NTEINEN915 |
| Pruebas realizadas al residuo del ensayo de película delgada al horno | | | | | | | | | | | | ASTMD1754 |
| Viscosidad absoluta a 60°C | Pa s ⁽⁴⁾ | -- | 125 | -- | 250 | -- | 500 | -- | 1 000 | -- | 2 000 | ASTMD2171 |
| Ductilidad a 25°C, 5 cm/min | cm | 100 ⁽⁶⁾ | -- | 100 | -- | 50 | -- | 20 | -- | 10 | -- | NTEINEN916 |
| ⁽⁴⁾ 1 Pa s(Pascal segundo) = 10 P (Poise). ⁽⁵⁾ Ver NTE INEN 53 ⁽⁶⁾ Si la ductilidad es menor a 100, el material debe ser aceptado, solo si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 a una velocidad de tiro de 5cm/min. | | | | | | | | | | | | |

Nota: Tomada de NTE INEN 2515, 2010, p. 4.

Se muestra a continuación una tabla de resumen de la caracterización de los agregados, así como del asfalto utilizado (AC-20).

Tabla 2-2: *Resumen caracterización del asfalto (AC-20).*

| Ensayos | Valor | Unidad | Min | Max | Observación | Norma |
|-----------------------------------|---------|--------|-----|------|-------------|------------|
| CEMENTO ASFÁLTICO AC-20 | | | | | | |
| Gravedad Específica | 1,011 | gr/cm3 | | | | ASTM D70 |
| Densidad | 1007,74 | kg/m3 | | | | ASTM D70 |
| Penetración | 72,33 | dmm | 40 | | CUMPLE | ASTM D5 |
| Punto de ablandamiento | 48,4 | °C | | | | ASTM D36 |
| Ductilidad | >100 | cm | 50 | | CUMPLE | ASTM D113 |
| Punto de inflamación | 315 | °C | 232 | | CUMPLE | ASTM D92 |
| Punto de combustión | 335 | °C | | | | ASTM D92 |
| Viscosidad | 234,048 | Pa.s/s | 160 | 240 | CUMPLE | ASTM D2171 |
| RTFO | | | | | | |
| Horno de Película Delgada Rodante | 0,022 | % | | 1 | CUMPLE | ASTM D2872 |
| Ductilidad | 50 | cm | 50 | | CUMPLE | ASTM D113 |
| Viscosidad | 877,011 | Pa.s/s | | 1000 | CUMPLE | ASTM D2171 |

Tabla 2-3: Resumen caracterización de los agregados.

| Ensayos | Valor | Unidad | Min | Max | Observación | Norma |
|--|-------|--------|-----|-----|-------------|------------|
| AGREGADO FINO | | | | | | |
| Gravedad Específica Bulk (Ge) | 2,46 | gr/cm3 | | | | ASTM C128 |
| Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca (Ges) | 2,53 | gr/cm3 | | | | ASTM C128 |
| Gravedad Específica Aparente (Gea) | 2,66 | gr/cm3 | | | | ASTM C128 |
| % Absorción | 3,11 | % | | | | ASTM C128 |
| Contenido de humedad | 3,41 | % | | | | ASTM C2216 |
| Durabilidad a los sulfatos | 11,37 | % | | 12 | CUMPLE | ASTM C88 |
| Equivalente de arena | 80,82 | % | 50 | | CUMPLE | ASTM D2419 |
| AGREGADO INTERMEDIO | | | | | | |
| Gravedad Específica Bulk (Ge) | 2,23 | gr/cm3 | | | | ASTM C127 |
| Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca (Ges) | 2,34 | gr/cm3 | | | | ASTM C127 |
| Gravedad Específica Aparente (Gea) | 2,5 | gr/cm3 | | | | ASTM C127 |
| % Absorción | 4,86 | % | | | | ASTM C127 |
| Contenido de humedad | 2,15 | % | | | | ASTM C2216 |
| Abrasión | 34,72 | % | | 50 | CUMPLE | ASTM C131 |
| Durabilidad a los sulfatos | 10,44 | % | | 12 | CUMPLE | ASTM C88 |
| AGREGADO GRUESO | | | | | | |
| Gravedad Específica Bulk (Ge) | 2,37 | gr/cm3 | | | | ASTM C127 |
| Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca (Ges) | 2,44 | gr/cm3 | | | | ASTM C127 |
| Gravedad Específica Aparente (Gea) | 2,55 | gr/cm3 | | | | ASTM C127 |
| % Absorción | 2,98 | % | | | | ASTM C127 |
| Contenido de humedad | 0,62 | % | | | | ASTM C2216 |
| Abrasión | 40,18 | % | | 50 | CUMPLE | ASTM C131 |
| Durabilidad a los sulfatos | 9,3 | % | | 12 | CUMPLE | ASTM C88 |

CAPÍTULO III: MEZCLAS ASFÁLTICAS

3.1 PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS

Entre las propiedades volumétricas de las mezclas asfálticas compactadas que nos indican información sobre el rendimiento probable del pavimento están:

- Vacíos de aire (V_a).
- Vacíos en el agregado mineral (VMA).
- Vacíos llenos de asfalto (VFA).
- Contenido de asfalto efectivo (P_{be}).

El agregado mineral es poroso y puede absorber asfalto y agua en un grado variable y la relación de absorción varía con cada agregado, existen tres métodos para determinarlos como son: gravedad específica Bulk, Aparente y Efectiva (Asphalt Institute, 2008).

3.1.1 Gravedad Específica Bulk (G_{sb})

Es la relación entre el peso en el aire de un volumen unitario de agregado (incluyendo los vacíos permeables e impermeables) con respecto al peso en aire de un volumen de agua destilada libre de gas que tenga la misma densidad a una temperatura establecida (Asphalt Institute, 2008).

3.1.2 Gravedad Específica Aparente (G_{sa})

Es la relación entre el peso en el aire de un volumen unitario de un material impermeable y la masa de igual volumen de agua destilada, ambos a una temperatura establecida (Asphalt Institute, 2008).

3.1.3 Gravedad Específica Efectiva (Gse)

Es la relación entre el peso en el aire de un volumen unitario de un material permeable (excluyendo vacíos permeables del asfalto) y la masa de igual volumen de agua, ambos a una temperatura indicada (Asphalt Institute, 2008).

3.1.4 Vacíos de aire (Va).

Es el volumen de los pequeños espacios de aire entre las partículas de agregado, cubiertas por asfalto en una mezcla asfáltica compactada, expresada como porcentaje del volumen total de la mezcla asfáltica compactada (Asphalt Institute, 2008).

3.1.5 Vacíos en el agregado mineral (VMA).

Es el volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas de agregado en una mezcla asfáltica compactada que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje de la muestra (Asphalt Institute, 2008).

3.1.6 Vacíos llenos de asfalto (VFA).

Es la porción del volumen de espacio vacío intergranular (VMA) que es ocupado por el asfalto efectivo (Asphalt Institute, 2008).

3.1.7 Contenido de asfalto efectivo (Pbe).

Es el contenido total de asfalto de una mezcla sin incluir la porción de asfalto que se pierde por la absorción en las partículas del agregado (Asphalt Institute, 2008).

3.2 MÉTODO MARSHALL PARA DISEÑO DE MEZCLAS

El método Marshall es únicamente aplicable en mezclas asfálticas en caliente, este método cubre las mediciones de la estabilidad que es la máxima resistencia en libras y el flujo que es la deformación de muestras cilíndricas de mezclas asfálticas compactadas y estas son cargadas perpendicularmente al eje cilíndrico mediante el aparato Marshall. Este

método es para mezclas asfálticas de alta densidad preparadas con asfalto modificado o sin modificar. (ASTM 6927, 2015)

El procedimiento para el método Marshall comienza con la preparación de las briquetas de prueba.

Recomendaciones para la preparación de las briquetas (Marshall)

1. Número de muestras: 3 muestras para cada contenido de asfalto
2. Preparación de agregados: Previamente realizar la combinación de los agregados con las diferentes fracciones de tamaños (Anexo. 1), estos deben ser secados a una temperatura constante de 105°C – 110°C
3. Determinación de la temperatura de mezclado y de compactación: Estas temperaturas nos da la curva de viscosidad (Anexo. 2)

Tabla 3-1: *Temperatura de mezclado y compactación.*

| | Temperaturas |
|--------------|---------------------|
| Mezclado | 151.5°C - 157.0°C |
| Compactación | 140.0°C - 145.0°C |

4. Preparación del molde: calentar al molde de 10 a 15 minutos en el horno a una temperatura constante 105°C – 110°C, encerar el molde y colocar un pedazo de filtro o papel cortado a medida, en el fondo del molde antes de colocar la mezcla.
5. Preparación de la mezcla: Pesar en un recipiente la combinación de agregados y realizar el cálculo del peso del asfalto a utilizar mediante la siguiente relación:

$$Peso\ Asfalto = \frac{Peso\ Agregados * \% de\ Asfalto}{100 - \% de\ Asfalto}$$

Incorporar el asfalto en la combinación de los agregados y mezclar con una paleta a mano lo más rápido y exhaustivamente posible hasta obtener una distribución uniforme del asfalto, para este punto la temperatura debe estar en los límites de la temperatura de mezclado establecida en el punto 3.



Figura 3-1 Preparación de la mezcla.

6. Relleno del molde: Colocar un disco de papel en molde, verter la mezcla en el molde, mezcle con una espátula vigorosamente 15 veces alrededor del perímetro y diez veces sobre el interior, y esta debe de conservar la temperatura de compactación establecida en el punto 3.
7. Compactación de las muestras: Colocar un papel sobre la mezcla y poner el conjunto sobre el pedestal de compactación, aplicar 75 golpes con el martillo de compactación con una caída libre de 457 mm retire la placa base y el collar, e invierta el montaje del molde y aplicar el mismo número de golpes de compactación en la cara de la muestra invertida. Después de la compactación, retire la placa base y los discos de papel y permitir que la muestra se enfríe hasta que no se produzca deformación al retirarla y proceder a desmoldar.

Colocar en una superficie nivelada hasta que las muestras se encuentren listas para ser ensayadas (Asphalt Institute, 2008).

3.2.1 Procedimiento de prueba Marshall

En el método Marshall cada muestra (briqueta) de ensayo compactada se somete a los siguientes pasos en el orden indicado.

- a) Determinación de la gravedad específica Bulk.
- b) Prueba de estabilidad y flujo.
- c) Densidad y análisis de vacíos.

3.2.2 Determinación de la gravedad específica Bulk.

Para la determinación de la gravedad específica Bulk cada briqueta es limpiada para eliminar los posibles residuos existentes, posteriormente se realiza 4 mediciones de diámetro y de espesor y se obtiene el promedio de las 4 mediciones mencionadas.

Se prosigue a pesar las briquetas de 3 maneras diferentes como son:

- a) Peso Seco.
- b) Peso con superficie saturada seca.
- c) Peso sumergido en agua.

Procedimiento:

1. Se pesa la briqueta en su condición normal (Peso seco).
2. Se sumerge la briqueta en agua a una temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ alrededor de 3 a 5 minutos ó hasta que se estabilice la balanza y se toma el peso. (Peso sumergido en agua).

3. Sacar del agua y secar la briqueta quitando las gotas existentes y tomar el peso (Peso con superficie saturada seca).

Se calcula la gravedad específica Bulk con la siguiente relación:

$$\text{Densidad Bulk} = \frac{\text{Peso Seco}}{\text{Peso con superficie saturada seca} - \text{Peso sumergido en agua}}$$

3.2.3 Prueba de estabilidad y flujo.

Una vez que se ha determinado la gravedad específica Bulk de las briquetas se procede a sumergirlas en un baño a una temperatura de 60°C durante 30 – 40 minutos antes de ser ensayadas. Pasado el tiempo ya mencionado se retira la briqueta del agua secándola y poniéndola en el cabezal de la máquina y se aplica la prueba hasta que ocurra la falla, la máquina automáticamente entrega la gráfica estabilidad vs flujo.

Este proceso desde la extracción de la briqueta del agua se debe completar en un periodo de 30 segundos.



Figura 3-2 Prueba de estabilidad y flujo (Marshall).

3.2.4 Densidad y análisis de vacíos.

Este método de prueba cubre la determinación de la gravedad específica teórica máxima y densidad de un pavimento bituminoso a 25 ° C

Procedimiento:

1. Se realiza una mezcla y se la deja enfriar en condición suelta.



Figura 3-3 Muestra suelta (Gravedad específica teórica máxima).

2. Se coloca la muestra en un recipiente de vacío calibrado y se toma su peso.
3. El recipiente con la muestra es llenado con agua a una temperatura de 25°C hasta cubrir la muestra y sobrepasarla con una medida aproximada de una pulgada.
4. Se procede a reducir la presión residual en el recipiente de 25 a 30 mm de Hg durante dos ciclos de 7.5 minutos en dos diferentes direcciones (derecha e izquierda). El vacío se va liberando gradualmente.



Figura 3-4: Recipiente de vacío calibrado

5. El volumen de la muestra de la mezcla se obtiene sumergiendo el recipiente de vacío con la muestra en un baño de agua a una temperatura de 25°C, llenarlo hasta el nivel del recipiente y esperar a que la muestra tenga la misma temperatura es decir $25 \pm 1^\circ\text{C}$, taparlo y pesarlo (ASTM D2041, 2011).



Figura 3-5 Recipiente de vacío sumergido a 25°C.

La Gravedad específica teórica máxima se calcula con la siguiente relación:

$$Gmm = \frac{A}{(A - (E - D))}$$

Dónde:

A = Masa de la muestra

D = Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$

E = Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$

3.3 MEZCLA ORIGINAL

La gradación de los agregados es un diseño que cumple con los criterios del método de diseño de mezcla, se discute la calidad de las partículas de agregado en términos de las características físicas.

La fase de diseño de la mezcla define la gradación real y el contenido de asfalto. La determinación de las proporciones de dos o más agregados para lograr una degradación dentro de los límites de las especificaciones es en gran medida una cuestión de prueba y error. (Asphalt Institute, 2008)

Se utilizará el método gráfico con una hoja de cálculo con el cual es posible una estimación visual de las proporciones de mezcla requerida y sobre todo evaluar rápidamente varias mezclas alternativas.

Tabla 3-2: *Proporciones de mezcla requerida (Agregados).*

| Tamiz # | 1 | 3.4 | 1.2 | 3.8 | 4 | 8 | 30 | 50 | 100 | 200 | p #200 |
|-----------|-----|-----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|
| mezcla | 100 | 100 | 94,52 | 89,25 | 67,89 | 43,66 | 18,86 | 10,39 | 5,71 | 3,11 | |
| Ret.Ac. | 0 | 0 | 5,48 | 10,75 | 32,11 | 56,34 | 81,14 | 89,61 | 94,29 | 96,89 | 3,11 |
| Ret.Parc. | 0 | 0 | 5,48 | 5,28 | 21,36 | 24,23 | 24,8 | 8,47 | 4,68 | 2,6 | |
| % peso | 0 | 0 | 60,24 | 58,06 | 234,92 | 266,57 | 272,78 | 93,19 | 51,48 | 28,58 | |
| % acum. | 0 | 0 | 60,24 | 118,29 | 353,21 | 619,78 | 892,56 | 985,75 | 1037,23 | 1065,81 | 1100 |

Tabla 3-3: *Porcentaje de mezcla*

| % de Mezcla | |
|-------------|----|
| A | 20 |
| B | 20 |
| C | 60 |

Dónde:

A = Agregado grueso.

B = Agregado intermedio.

C = Agregado fino.

3.3.1 Porcentaje óptimo de asfalto.

Al determinar el contenido de asfalto, se prepara una serie de muestras con diferente contenido de asfalto tomando como base el asfalto de diseño y dos por encima y por debajo de este valor.

Para calcular el contenido de asfalto de diseño podríamos usar la siguiente fórmula que nos proporciona el Asphalt Institute:

$$P = 0.035a + 0.045b + Kc + F$$

Dónde:

P = Contenido aproximado de asfalto de la mezcla.

a = Porcentaje del agregado mineral retenido en el tamiz (No.8).

b = Porcentaje del agregado mineral que pasa el tamiz (No.8) y que retiene el tamiz (No.200).

c = Porcentaje del agregado mineral pasante del tamiz (No.200).

K = Coeficiente de acuerdo al porcentaje del agregado mineral pasante del tamiz (No.200).

Tabla 3-4: *Coeficiente de acuerdo al porcentaje del agregado mineral pasante del tamiz (No.200).*

| Coeficiente | Porcentaje pasante del tamiz (No. 200) |
|-------------|--|
| 0.15 | 11-15 |
| 0.18 | 6-10 |
| 0.20 | 5 o menos |

F = Coeficiente de acuerdo con la absorción del agregado mineral.

Reemplazando con nuestros datos obtenidos:

$$a = 67.89$$

$$b = 38.07$$

$$c = 3.11$$

$$K = 0.20 \text{ según la tabla 4.6}$$

$$F = 1.1$$

$$P = 0.035(67.89) + 0.045(38.07) + (0.20)(3.11) + 1.1$$

$$P = 5,81$$

Por lo tanto, nuestro contenido de asfalto base de diseño será el 6% redondeando y con él se analiza dos porcentajes por encima y debajo de este valor es decir (7.0%, 6.5%, 6.0%, 5.5%, 5.0%).

Para proporcionar datos adecuados, se preparan al menos 3 muestras para cada contenido de asfalto.

Una vez ya obtenido nuestra mezcla de diseño se procede a realizar las briquetas con nuestros diferentes tipos de contenido de asfalto como son 7.0%, 6.5%, 6.0%, 5.5%, 5.0% para así ensayarlos con el método Marshall y encontrar nuestro porcentaje óptimo de asfalto.

3.3.2 Interpretación de los datos

Se presenta a continuación los criterios mínimos de diseño tomada de las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes.

Tabla 3-5: *Criterios para el diseño de Mezclas Marshall.*

| TIPO DE TRAFICO | Muy Pesado | | Pesado | | Medio | | Liviano | |
|--|-------------------|------|--------|------|-------|------|---------|------|
| CRITERIOS MARSHALL | Min. | Max. | Min. | Max. | Min. | Max. | Min. | Max. |
| No. De Golpes/Cara | 75 | | 75 | | 50 | | 50 | |
| Estabilidad (libras) | 2200 | - | 2200 | - | 2200 | - | 1000 | 2400 |
| Flujo (pulgada/100) | 8 | 14 | 8 | 14 | 8 | 16 | 8 | 16 |
| % de vacíos en mezcla | | | | | | | | |
| Capa de Rodadura | 3 | 5 | 3 | 5 | 3 | 5 | 3 | 5 |
| Capa Intermedia | 3 | 8 | 3 | 8 | 3 | 8 | 3 | 8 |
| Capa de Base | 3 | 9 | 3 | 9 | 3 | 9 | 3 | 9 |
| % Vacíos agregados | VER TABLA 405-5.5 | | | | | | | |
| Relación filler/betún | 0.8 | 1.2 | 0.8 | 1.2 | | | | |
| % Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente | | | | | | | | |
| Capa de Rodadura | 70 | - | 70 | - | | | | |
| Intermedia o base | 60 | - | 60 | - | | | | |

Nota: Tomada de MOP – 001-F 2002, 2002, p. 309.

Tabla 3-6: *Porcentaje de vacíos en los agregados según el tipo de mezcla*

| Tipo de Mezcla | VAM, Mínimo (%) |
|-----------------------|------------------------|
| A | 16 |
| B | 15 |
| C, D | 14 |
| E | 13 |

Nota: Tomada de MOP – 001-F 2002, 2002, p. 310.

A continuación, se presentan los promedios de los valores de la densidad Bulk, estabilidad, flujo, Va, VAM, VAF para todas las muestras de un determinado contenido de asfalto.

Tabla 3-7: *Cuadro de Resumen (Mezcla Original.)*

| % Asfalto | Densidad Bulk | Estabilidad | Flujo | Va | VMA | VFA |
|------------------|----------------------|--------------------|--------------|-----------|------------|------------|
| 5,0 | 2,000 | 2767 | 12 | 15,26 | 27,05 | 43,58 |
| 5,5 | 2,032 | 2698 | 12 | 12,8 | 26,28 | 51,27 |
| 6,0 | 2,044 | 2996 | 14 | 11,9 | 26,22 | 54,63 |
| 6,5 | 2,033 | 2904 | 14 | 10,82 | 27,00 | 59,92 |
| 7,0 | 2,058 | 3212 | 14 | 9,74 | 26,5 | 63,27 |

Se presentarán diferentes gráficos con una curva suave con el mejor ajuste posible para todos los valores, estos gráficos son utilizados para determinar el porcentaje óptimo que una vez ya analizados se obtuvo que es el 5,8% de asfalto, entre las gráficas tenemos:

- %Asfalto - Densidad Bulk

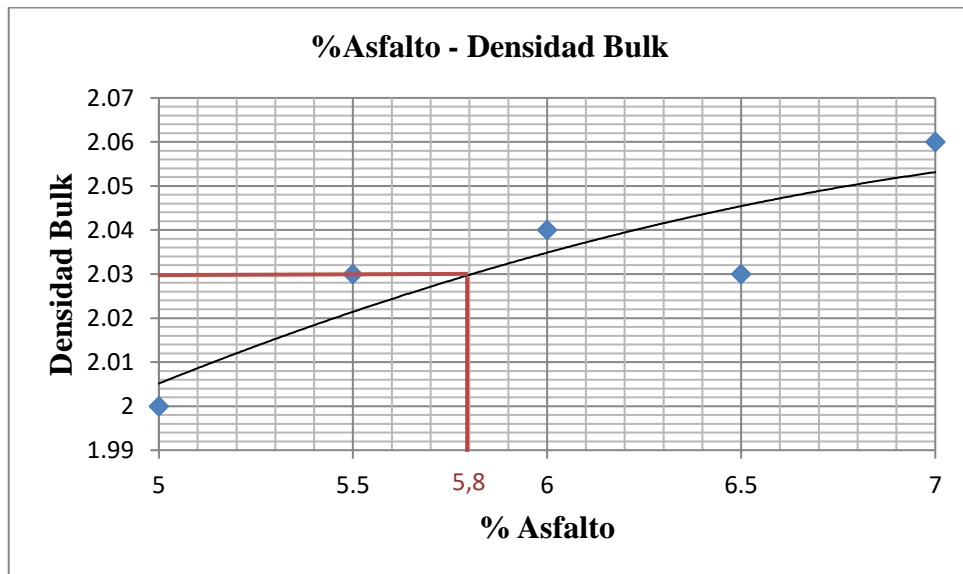


Figura 3-6 Gráfica porcentaje de asfalto vs Densidad Bulk

La densidad Bulk aumenta a medida que se aumenta el porcentaje de asfalto, es decir que la gráfica tiene una tendencia creciente y para un porcentaje de asfalto de 5,8% se obtuvo una densidad Bulk de 2,03.

- %Asfalto – Estabilidad

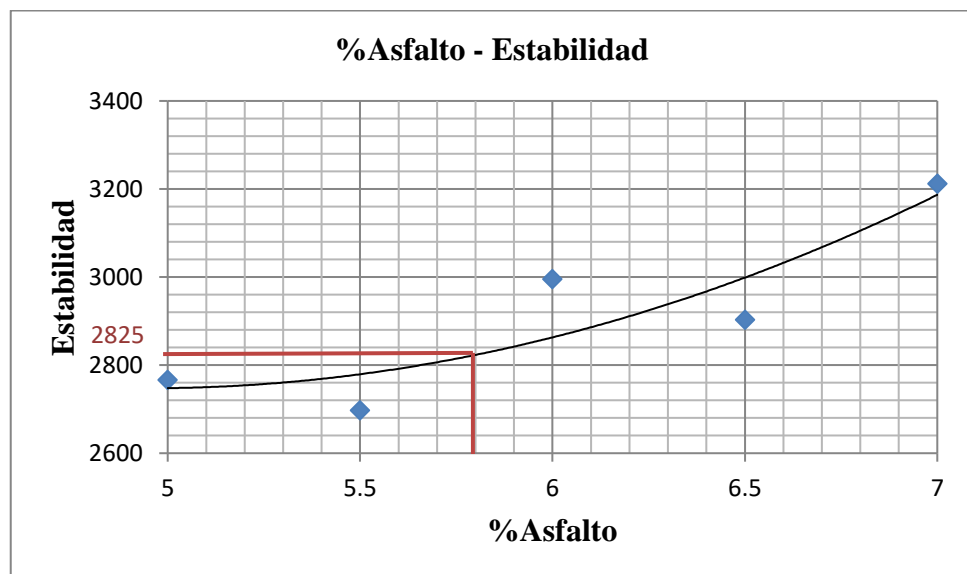


Figura 3-7: Gráfica porcentaje de asfalto vs Estabilidad.

La estabilidad aumenta a medida que el porcentaje de asfalto se incrementa, es decir que su gráfica tiene una tendencia creciente y para un porcentaje de asfalto del 5,8% se tiene una estabilidad de 2825 psi, valor que cumple los criterios mínimos (2200 psi) de la MTOP para un tipo de tráfico (muy pesado).

- %Asfalto - Vacíos en el agregado mineral (VMA)

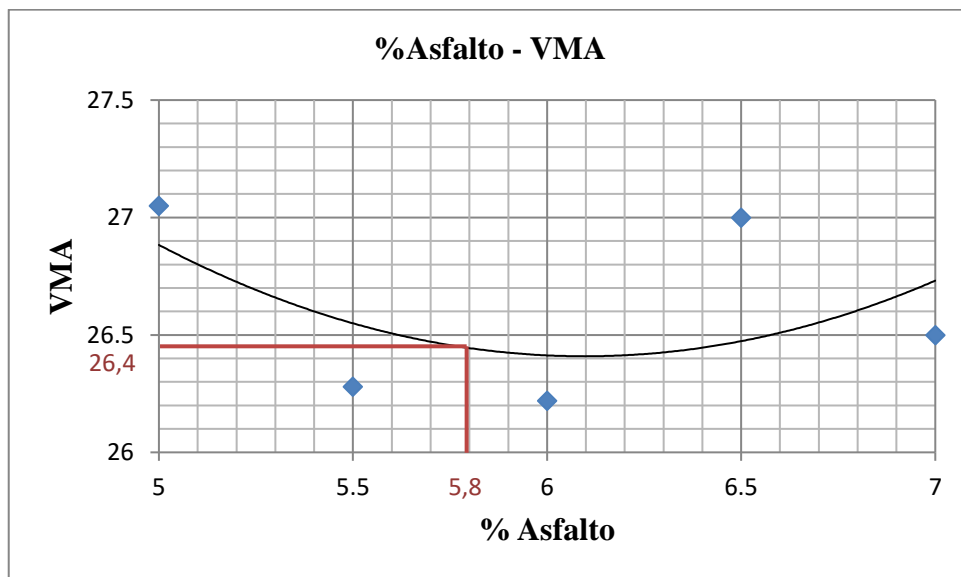


Figura 3-8: Gráfica porcentaje de asfalto vs Vacíos en el agregado mineral.

La gráfica de los vacíos en el agregado mineral tiende a ser decreciente hasta cierto punto de porcentaje de asfalto donde, cambia la tendencia y se vuelve creciente. Para el 5,8% de asfalto se tiene un 26,4% de VMA, valor que es mayor al criterio mínimo (14%) de la MTOP para nuestro tipo de mezcla.

- %Asfalto - Vacíos llenos de asfalto (VFA)

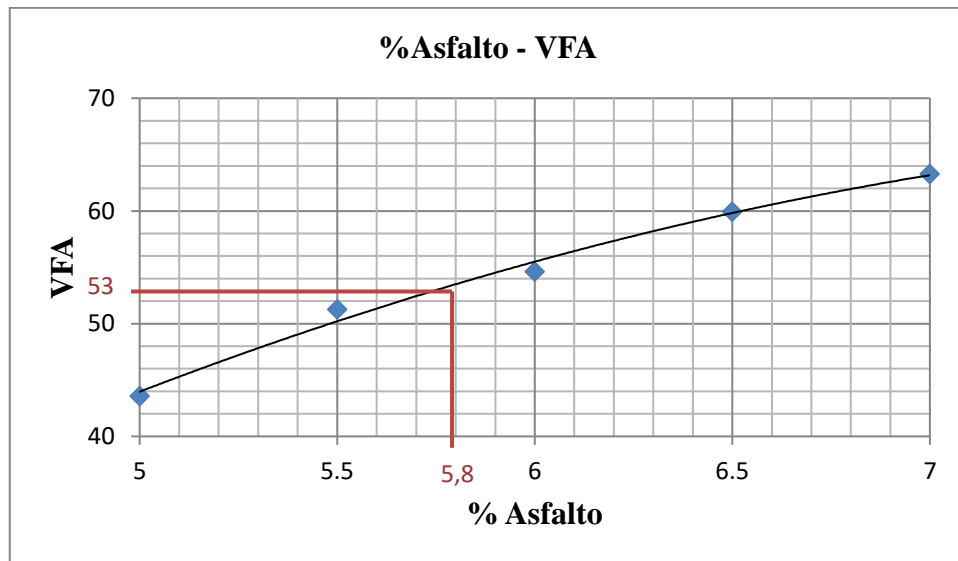


Figura 3-9: Gráfica porcentaje de asfalto vs Vacíos llenos de asfalto.

Los vacíos llenos de asfalto aumentan a medida que se aumenta el porcentaje de asfalto, es decir que la gráfica tiene una tendencia creciente y para un porcentaje de asfalto de 5,8% se obtuvo un porcentaje de vacíos llenos de asfalto del 53%, encontrándose fuera del rango de los criterios mínimos (65 a 75%).

- %Asfalto - Vacíos de aire (Va)

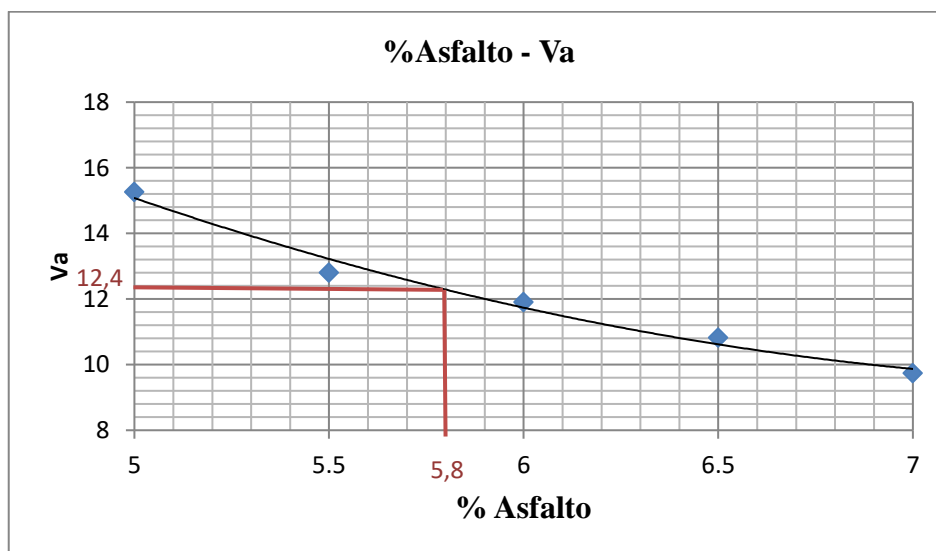


Figura 3-10: Gráfica porcentaje de asfalto vs Vacíos de aire.

Los vacíos de aire disminuyen a medida que el porcentaje de asfalto aumenta, es decir que nos encontramos con una gráfica con tendencia decreciente y para un porcentaje de asfalto del 5,8% se tiene 12,4% de vacíos de aire encontrándose fuera del rango de los criterios mínimos (3 a 5%) de la MTOP para una capa de base.

- %Asfalto – Flujo

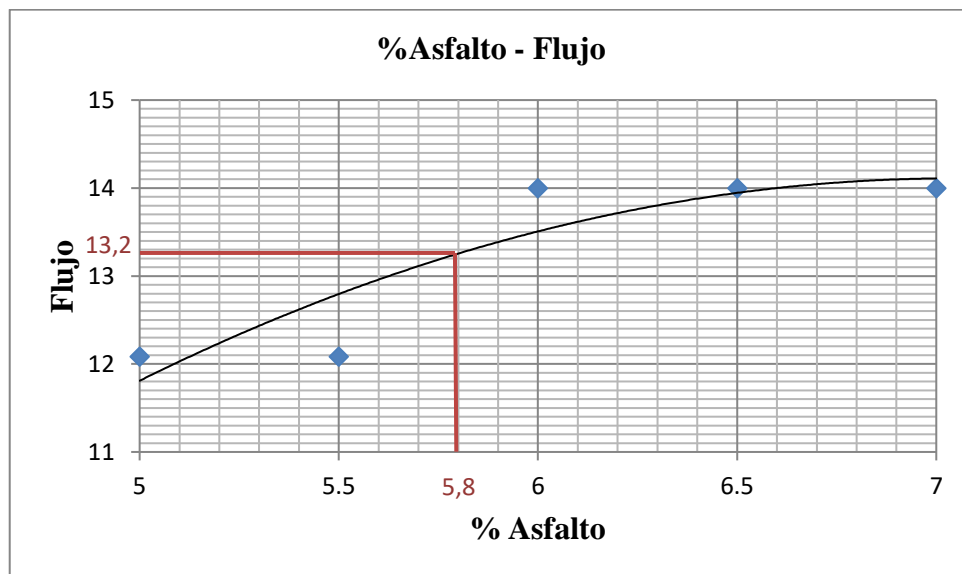


Figura 3-11: Gráfica porcentaje de asfalto vs Flujo.

El flujo en las diferentes mezclas es directamente proporcional al porcentaje de asfalto que se coloque y para un porcentaje del 5,8% de asfalto se tiene un flujo de 13,2 valor que cumple los criterios mínimos (8 - 14) de la MTOP para un tipo de tráfico (muy pesado).

Tabla 3-8: Resumen de resultados porcentaje óptimo de asfalto

| | |
|----------------------|-----------------------------|
| % Asfalto | 5,8 |
| Densidad Bulk | 2,030 [gr/cm ³] |
| Estabilidad | 2825 [psi] |
| Flujo | 13,2 |
| Va | 12,4 [%] |
| VMA | 26,4 [%] |
| VFA | 53 [%] |

3.4 MEZCLA MODIFICADA

Se realizó la mezcla modificada con 5 tipos de diseño (0%, 10%, 20%, 30%, 40%) de poliestireno, utilizamos el porcentaje óptimo de asfalto ya obtenido (5,8%) y se realizó la mezcla asfáltica modificada, el único cambio a la hora de realizar la mezcla fue al tener el 90% de una distribución uniforme del asfalto con los agregados se incorpora el porcentaje de poliestireno, la medición en cuanto a la cantidad del poliestireno se la realizó con la relación al volumen de los agregados.

Se utilizó una probeta para medir los volúmenes teniendo los siguientes resultados:

Tabla 3-9: *Relación de volúmenes.*

| | |
|-------------------|--------|
| agregados | 700 ml |
| 10 % poliestireno | 70 ml |
| 20 % poliestireno | 140 ml |
| 30 % poliestireno | 210 ml |
| 40 % poliestireno | 240 ml |

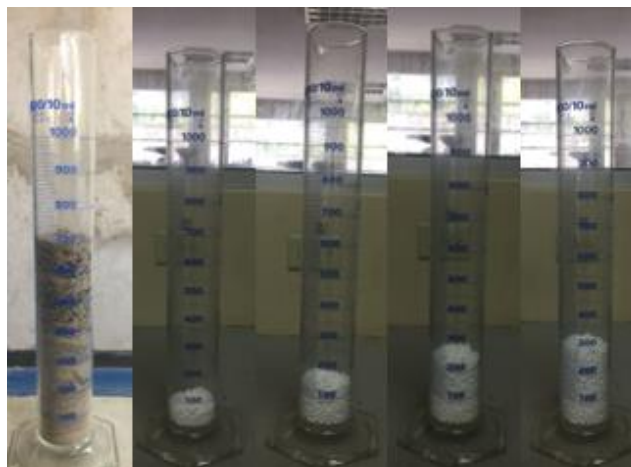


Figura 3-12: Relación de volumen con probeta

3.4.1 Porcentaje óptimo de poliestireno.

Se añadió a la mezcla asfáltica el poliestireno en diferentes porcentajes (0%, 10%, 20%, 30%, 40%), con el que se obtuvo 3 briquetas de cada diseño para así ensayarlos con el método Marshall y encontrar nuestro porcentaje óptimo de poliestireno.

3.4.2 Interpretación de los datos

A continuación, se presentan los promedios de los valores de la densidad Bulk, estabilidad, flujo, Va, VAM, VAF para todas las muestras de un determinado contenido de poliestireno.

Tabla 3-10: *Cuadro de Resumen (Mezcla Modificada).*

| % Poliestireno | Densidad Bulk | Estabilidad | Flujo | Va | VMA | VFA |
|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------|-----------|------------|------------|
| 0 | 2,057 | 2667 | 12 | 14,27 | 24,94 | 42,78 |
| 10 | 2,055 | 2702 | 11 | 14,37 | 25,42 | 43,48 |
| 20 | 2,029 | 2869 | 12 | 15,09 | 26,75 | 43,59 |
| 30 | 2,042 | 3256 | 12 | 14,55 | 26,67 | 45,46 |
| 40 | 2,020 | 2819 | 12 | 15,41 | 27,8 | 44,58 |

Se presentarán diferentes gráficos con una curva suave con el mejor ajuste posible para todos los valores, estos gráficos son utilizados para determinar el porcentaje óptimo que una vez ya analizados se obtuvo que es el 25% de poliestireno entre las gráficas tenemos:

- %Poliestireno - Densidad Bulk

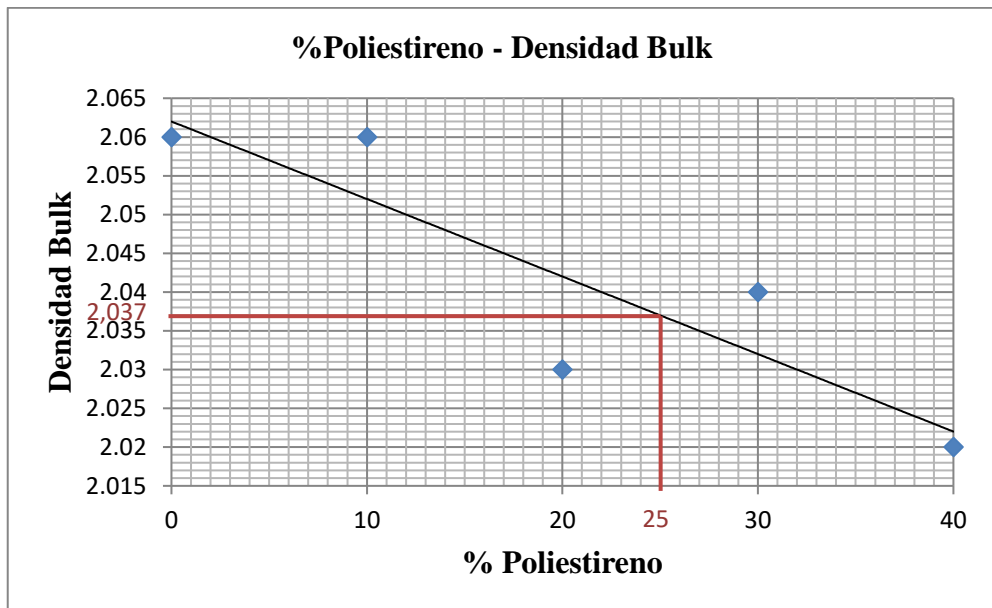


Figura 3-13: Gráfica porcentaje de poliestireno vs Densidad Bulk.

La densidad Bulk disminuye a medida que se aumenta el porcentaje de poliestireno, es decir que la gráfica tiene una tendencia decreciente y para un porcentaje de poliestireno del 25% se obtuvo una densidad Bulk de 2,037.

- %Poliestireno – Estabilidad

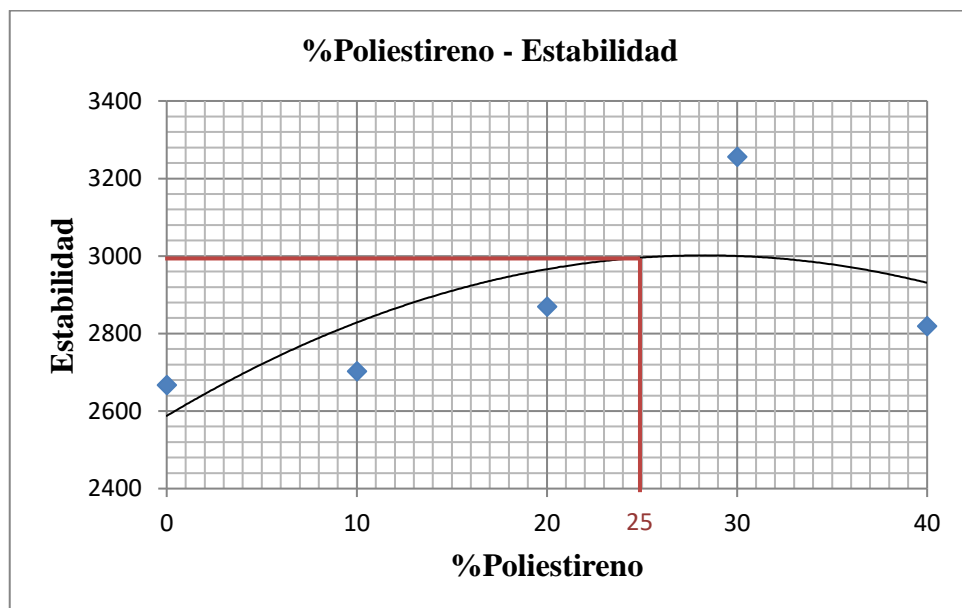


Figura 3-14: Gráfica porcentaje de poliestireno vs Estabilidad.

La gráfica de estabilidad tiende a ser creciente hasta cierto punto de porcentaje de poliestireno donde, cambia la tendencia y se vuelve decreciente y para un porcentaje de poliestireno del 25% se tiene una estabilidad de 3000 psi, valor que cumple los criterios mínimos (2200 psi) de la MTOP para un tipo de tráfico (muy pesado).

- %Poliestireno - Vacíos en el agregado mineral (VMA)

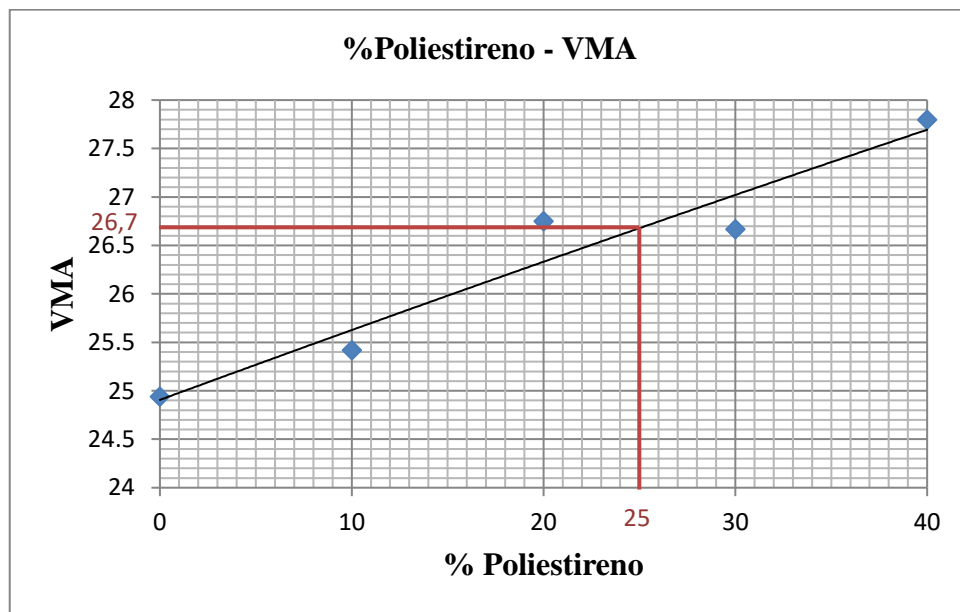


Figura 3-15: Gráfica porcentaje de poliestireno vs Vacíos en el agregado mineral.

La gráfica de los vacíos en el agregado mineral aumenta a medida que se aumenta el porcentaje de poliestireno. Para el 25% de poliestireno se tiene un 26,7% de VMA, valor que es mayor al criterio mínimo (14%) de la MTOP para nuestro tipo de mezcla.

- %Poliestireno - Vacíos llenos de asfalto (VFA)

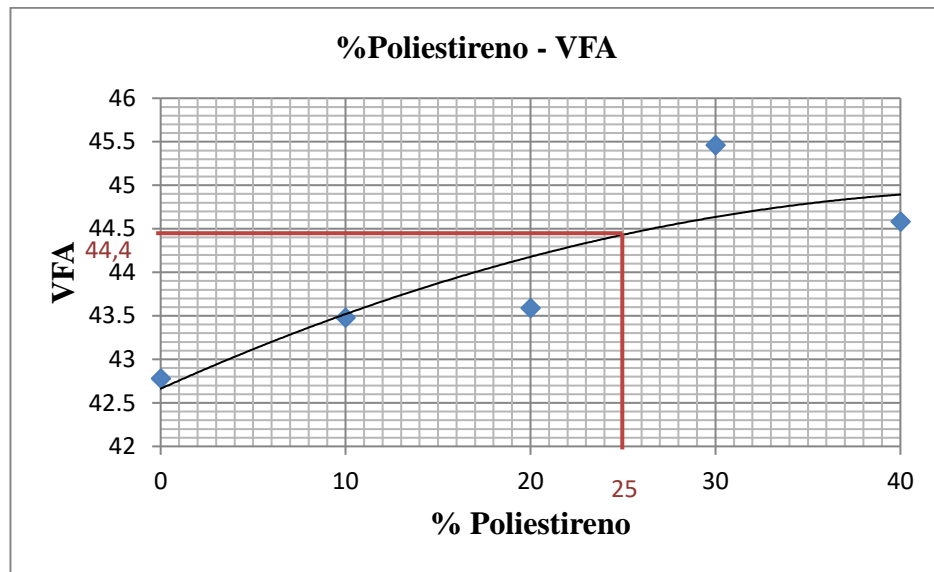


Figura 3-16: Gráfica porcentaje de poliestireno vs Vacíos llenos de asfalto.

Los vacíos llenos de asfalto tienen una gráfica con tendencia creciente y para un porcentaje de poliestireno del 25% se obtuvo un porcentaje de vacíos llenos de asfalto del 44.4%, encontrándose fuera del rango de los criterios mínimos (65 a 75%).

- %Poliestireno - Vacíos de aire (Va)

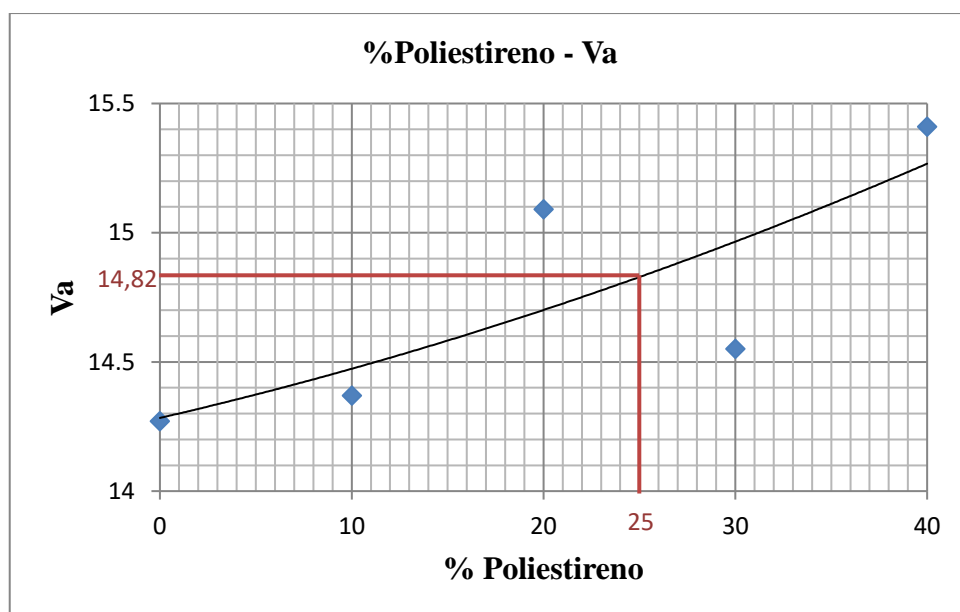


Figura 3-17: Gráfica porcentaje de poliestireno vs vacíos de aire.

Los vacíos de aire aumentan a medida que el porcentaje de poliestireno aumenta, es decir que nos encontramos con una gráfica con tendencia creciente y para un porcentaje de poliestireno del 25% se tiene 14,82% de vacíos de aire encontrándose fuera del rango de los criterios mínimos (3 a 9%) de la MTOP para una capa de base.

- %Poliestireno – Flujo

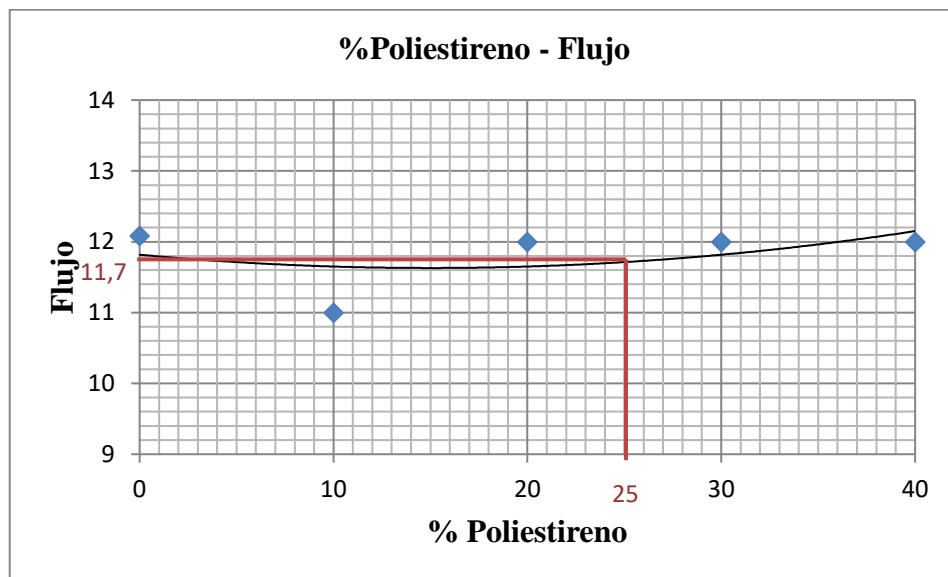


Figura 3-18: Gráfica porcentaje de poliestireno vs flujo.

El flujo en las diferentes mezclas modificadas con poliestireno observamos que tiene una tendencia línea es decir que el flujo se mantiene relativamente constante a medida que se aumenta el porcentaje de poliestireno y para un porcentaje del 25% de poliestireno se tiene un flujo de 11,7 valor que cumple los criterios mínimos (8 - 14) de la MTOP para un tipo de tráfico (muy pesado).

Tabla 3-11: *Resumen de resultados porcentaje óptimo de poliestireno*

| | |
|------------------------|----------------------------|
| % Asfalto AC-20 | 5.8 |
| % Poliestireno | 25 |
| Densidad Bulk | 2,03 [gr/cm ³] |
| Estabilidad | 3000 [lbs] |
| Flujo | 11,7 |
| Va | 14,82 [%] |
| VMA | 26,7 [%] |
| VFA | 44,4 [%] |

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Una vez obtenidos los resultados del ensayo Marshall y hecha la comparación entre la mezcla convencional y la mezcla modificada se puede deducir que agregar poliestireno a una mezcla asfáltica mejora la estabilidad y se mantiene el valor del flujo.
- Los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio de gravedad específica, abrasión, equivalente de arena y resistencia a la acción de los sulfatos realizados a los agregados pétreos demuestran que estos cumplen con las especificaciones de valores mínimos y máximos permisibles que dictan las normas ASTM usadas como referencia para su realización.
- El cemento asfáltico utilizado para la preparación de las mezclas asfálticas cumple con los requerimientos que dicta la norma técnica ecuatoriana INEN 2515 para cementos asfálticos AC-20 que son usados en procesos de pavimentación, ya que los valores obtenidos en los ensayos de viscosidad, penetración, ductilidad y punto de inflamación cumplen con los valores mínimos o máximos que dicta la norma.
- Después de someter al cemento asfáltico original a un ensayo de envejecimiento acelerado, específicamente el ensayo de horno de película delgada rodante, el residuo obtenido cumple con los requerimientos de valores mínimos y máximos

que establece la norma INEN 2515 para los ensayos de horno de película delgada rodante, ductilidad y viscosidad.

- Después de realizar los ensayos a las briquetas de las mezclas asfálticas originales con porcentajes de asfalto de 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0%, se obtuvo que el porcentaje óptimo de asfalto para la realización de las mezclas modificadas es de 5.8%.
- El valor de estabilidad obtenido en la mezcla asfáltica con el porcentaje óptimo de asfalto de 5.8% y sin adicción de poliestireno fue de 2667 psi y 12 de flujo, valores que cumplen con las especificaciones del MTOP para tráfico muy pesado, que indican que la estabilidad debe ser mayor a 2200 psi y el flujo debe estar entre 8 y 14.
- Todas las mezclas asfálticas modificadas con los diferentes porcentajes de adicción de poliestireno del 10%, 20%, 30% y 40% presentaron un aumento en la estabilidad y mantuvieron el valor del flujo con respecto a la mezcla original sin modificar, los valores de estabilidad de las mezclas modificadas obtenidos son de 2702, 2869, 3256 y 2819 [psi] respectivamente y con valores de flujo promedio de 12, por lo que sí se puede ver un incremento con respecto a la estabilidad de la mezcla original de 2667 psi e igual flujo de 12.
- Todos los valores obtenidos de estabilidad y flujo de las mezclas modificadas cumplen con las especificaciones del MTOP para tráfico muy pesado al ser

mayores a 2200 psi para la estabilidad y mantenerse dentro del rango de 8 a 14 para el flujo.

- La estabilidad de la mezcla modificada con poliestireno tiende a incrementar su valor a medida que se aumenta el porcentaje de poliestireno hasta llegar a un punto máximo (30% de poliestireno), punto en cual comienza su descenso, por lo que al momento de analizar las gráficas obtuvimos un porcentaje óptimo de poliestireno del 25%
- Con la mezcla asfáltica modificada con 30% de poliestireno se obtuvo el mayor incremento en la estabilidad, logrando aumentar la resistencia en un 22% con respecto a la mezcla original.
- Los porcentajes de vacíos (VA) de las mezclas modificadas no variaron significativamente con respecto a la mezcla original, por lo que se puede deducir que la adicción de poliestireno a la mezcla asfáltica no afecta en la capacidad del pavimento para reducir deformaciones.

4.2 Recomendaciones

- Al momento de realizar las mezclas modificadas es recomendable hacer la incorporación del poliestireno en las etapas finales del proceso de mezclado ya que, por las características del poliestireno es posible que resulte perjudicial exponerse prolongadamente a las altas temperaturas del proceso de mezclado.

- Se recomienda realizar mínimo 3 briquetas para cada diseño con el fin de tener más datos de comprobación y así reducir las posibilidades de obtener errores.
- Una vez terminada la compactación Marshall se recomienda esperar un tiempo en el cual el molde con la mezcla pueda enfriarse antes de ser desmoldado para no comprometer la integridad de la briketa.
- Con el fin de garantizar que los resultados obtenidos de los ensayos a las briquetas de la mezcla original como de la mezcla modificada sean aceptables, es recomendable comprobar que los agregados pétreos y el material bituminoso usados en su fabricación cumplan con las especificaciones que dictan las normas técnicas.
- Se recomienda realizar más diseños de mezclas modificadas con porcentajes de poliestireno mayores al 40% para comprobar la tendencia de las curvas, así como diseños con porcentajes en intervalos de 5.0% para tener un mejor ajuste de las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

Anape. (12 de Julio de 2015). Recuperado el 16 de 04 de 2018, de

<http://www.anape.es/index.php?accion=producto>

Asphalt Institute, M.-2. (2008). *Mix Design Methods for Asphalt Concrete (MS-2)*.

Lexington.

ASTM 6927. (2015). Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt

Mixtures. *ASTM International*, 1.

ASTM C127. (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and

Absorption of Coarse Aggregate. *ASTM International*, 2.

ASTM C131. (2014). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size

Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. *ASTM International*, 2.

ASTM C136. (2014). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse

Aggregates. *ASTM International*, 1.

ASTM C2216. (2010). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water

(Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. *ASTM International*, 1-2.

ASTM C88. (2013). Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium

Sulfate or Magnesium Sulfate. *ASTM International*, 1.

ASTM D 2419. (1991). Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine

Aggregate. *ASTM International*, 5.

- ASTM D113. (2017). Standard Test Method for Ductility of Asphalt Materials. *ASTM International*, 2.
- ASTM D2041. (2011). Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures. *ASTM International*, 1.
- ASTM D2171. (2010). Standard Test Method for Viscosity of Asphalts by Vacuum Capillary Viscometer. *ASTM International*, 1-2.
- ASTM D2872. (2012). Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test). *ASTM International*, 1.
- ASTM D36. (2014). Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus). *ASTM International*, 1.
- ASTM D5. (2013). Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials. *ASTM International*, 1.
- ASTM D70. (2017). Standard Test Method for Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method). *ASTM International*, 1-2.
- ASTM D92. (2016). Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. *ASTM International*, 2.
- Bustillo, M., Durán, A., & Fueyo, L. (2014). *Manual de Áridos*. Madrid: Fueyo Editores.
- NTE INEN 2515. (2010). Productos derivados del petróleo. Cemento Asfáltico (Clasificación por viscosidad). Requisitos. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 3-4.

NTE INEN 860. (2011). Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 4.

Solís Jara, M. E., Lisperguer Muñoz, J. H., & Arencibia Silva, L. F. (2005). Compuestos mixtos de poliestireno y pino radiata. *Revista Cubana de Química*, XVII(3), 6.

Anexo 1: Granulometría (Agregado Fino).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Noviembre 2017

MATERIAL: Agregado Fino

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

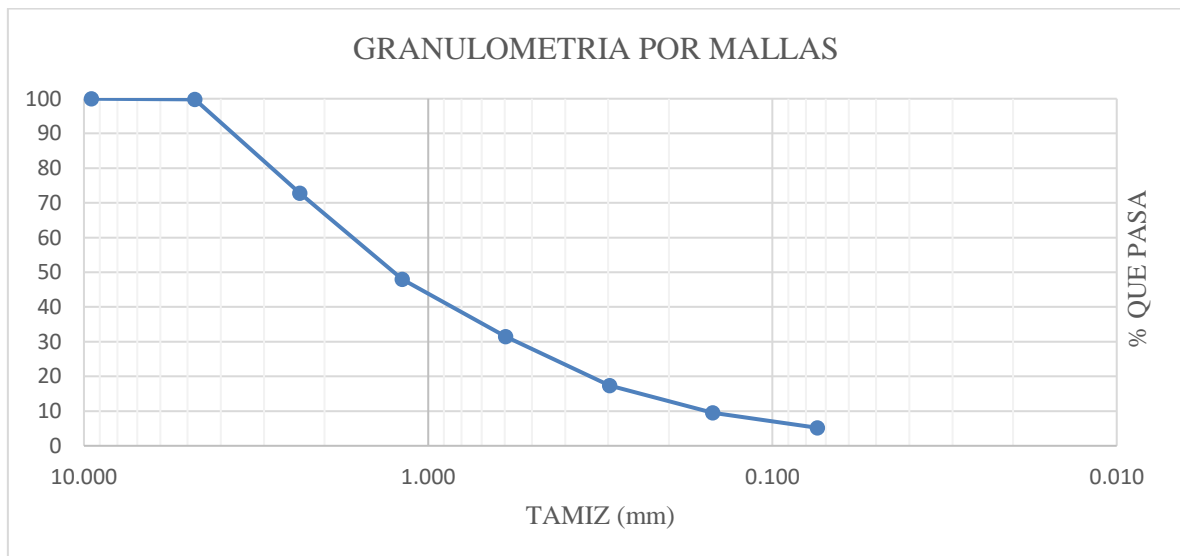
UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM C136

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

GRANULOMETRÍA (AGREGADO FINO)

| MALLA No. | Abertura (mm) | Masa Retenida Parcial | Masa Retenida acumulada | Porcentaje Retenido (%) | Porcentaje que pasa (%) |
|-----------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 3/8" | 9.510 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| #4 | 4.760 | 1.7 | 1.7 | 0.17 | 99.83 |
| #8 | 2.362 | 270.70 | 272.40 | 27.24 | 72.76 |
| #16 | 1.190 | 248.10 | 520.50 | 52.05 | 47.95 |
| #30 | 0.595 | 165.20 | 685.70 | 68.57 | 31.43 |
| #50 | 0.297 | 141.20 | 826.90 | 82.69 | 17.31 |
| #100 | 0.149 | 78.00 | 904.90 | 90.49 | 9.51 |
| #200 | 0.074 | 43.30 | 948.20 | 94.82 | 5.18 |
| Pasa 200 | | 51.60 | 999.80 | 99.98 | 0.02 |



Anexo 2: Granulometría (Agregado Intermedio).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Noviembre 2017

MATERIAL: Agregado Intermedio

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

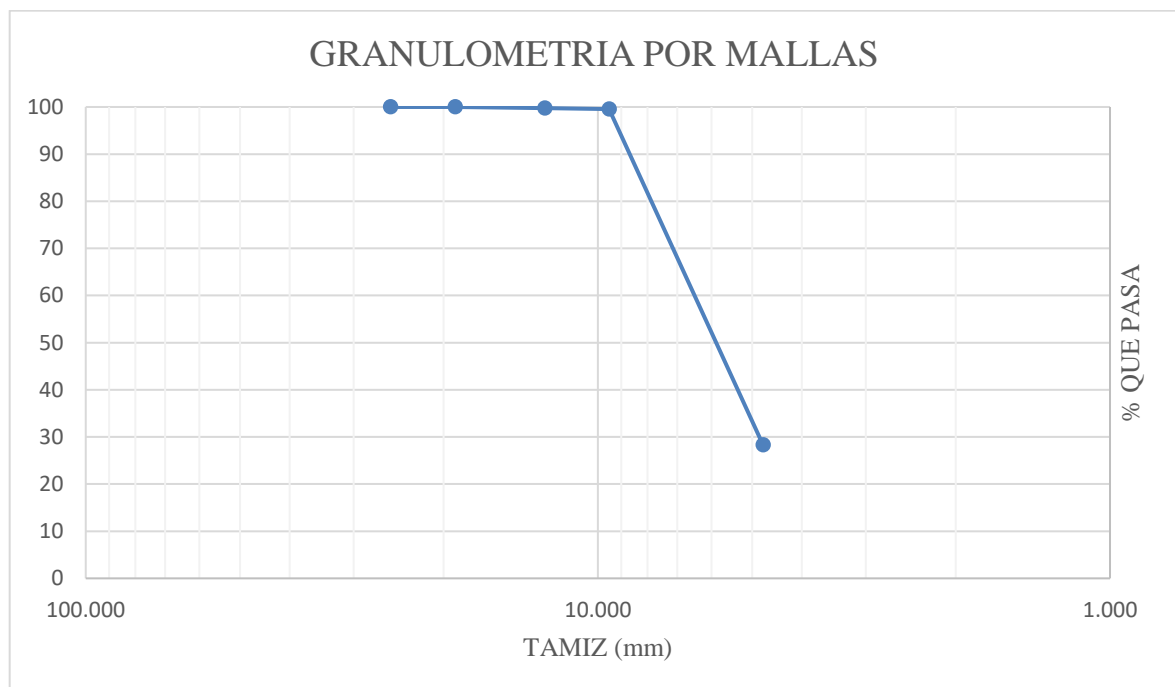
NORMA: ASTM C136

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

GRANULOMETRÍA (AGREGADO INTERMEDIO)

| | |
|------------------------------|-------|
| Masa de la muestra(g) | 10000 |
|------------------------------|-------|

| MALLA No. | Abertura (mm) | Masa Retenida Parcial | Masa Retenida acumulada | Porcentaje Retenido (%) | Porcentaje que pasa (%) |
|------------------|----------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1" | 25.400 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 3/4" | 19.000 | 0.00 | 0.00 | 0 | 100 |
| 1/2" | 12.700 | 21.00 | 21.00 | 0.21 | 99.79 |
| 3/8" | 9.510 | 27.00 | 48.00 | 0.48 | 99.52 |
| #4 | 4.760 | 7118.00 | 7166.00 | 71.66 | 28.34 |
| Pasa #4 | | 2825.00 | 9991.00 | 99.91 | 0.09 |



Anexo 3: Granulometría (Agregado Grueso).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Noviembre 2017

MATERIAL: Agregado Grueso

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

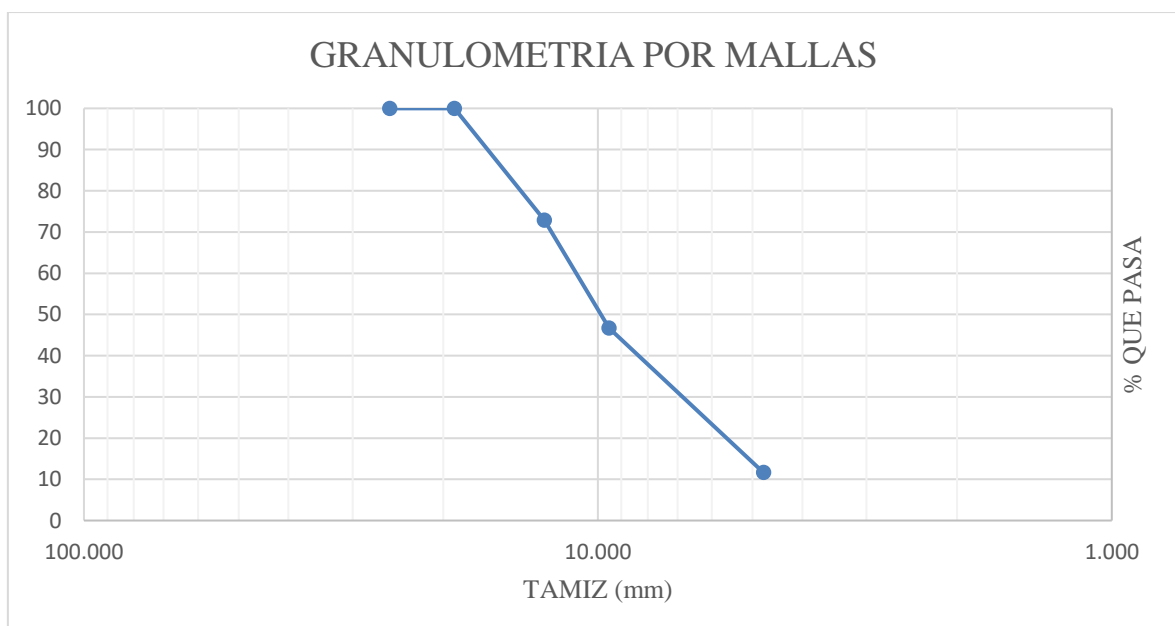
NORMA: ASTM C136

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

GRANULOMETRÍA (AGREGADO GRUESO)

| | |
|--------------------------------|-------|
| Masa de la muestra (gr) | 10000 |
|--------------------------------|-------|

| MALLA No. | Abertura (mm) | Masa Retenida Parcial | Masa Retenida acumulada | Porcentaje Retenido (%) | Porcentaje que pasa (%) |
|------------------|----------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1" | 25.400 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 3/4" | 19.000 | 0.00 | 0.00 | 0 | 100 |
| 1/2" | 12.700 | 2717.00 | 2717.00 | 27.17 | 72.83 |
| 3/8" | 9.510 | 2612.00 | 5329.00 | 53.29 | 46.71 |
| #4 | 4.760 | 3509.00 | 8838.00 | 88.38 | 11.62 |
| Pasa #4 | | 1156.00 | 9994.00 | 99.94 | 0.06 |



Anexo 4: Gravedad específica y absorción (Agregado Fino).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Noviembre 2017

MATERIAL: Agregado Fino

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM C128

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

$$Ma = Mmw - (Mm + B)$$

$$Ge = \frac{A}{500 - Ma}$$

$$Ges = \frac{B}{500 - Ma}$$

$$Gea = \frac{A}{500 + A + Mm - Mmw}$$

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$$

| | | | |
|---|------|--------|-----|
| Masa del matraz | Mm | 150 | gr. |
| Masa del conjunto (Matraz, agua y material) | Mmwm | 951.6 | gr. |
| Masa de la muestra con superficie seca | B | 498.32 | gr. |
| Masa de la muestra seca | A | 483.3 | gr. |
| Masa de agua añadida al matraz | Ma | 303.28 | gr. |

| | | | |
|--|-----|------|---|
| Gravedad específica Bulk | Ge | 2.46 | |
| Gravedad específica saturada con superficie seca | Ges | 2.53 | |
| Gravedad específica aparente | Gea | 2.66 | |
| Porcentaje de absorción | Ab | 3.11 | % |

Anexo 5: Gravedad específica y absorción (Agregado Intermedio).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Noviembre 2017

MATERIAL: Agregado Intermedio

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM C127

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO INTERMEDIO

$$Ge = \frac{A}{B - C}$$

$$Ges = \frac{B}{B - C}$$

$$Gea = \frac{A}{A - C}$$

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$$

| | | | |
|---|---|------|-----|
| Masa de la muestra saturada con superficie seca | B | 3644 | gr. |
| Masa de la muestra seca | A | 3475 | gr. |
| Masa de la muestra sumergida en agua | C | 2086 | gr. |

| | | | |
|--|-----|------|---|
| Gravedad específica Bulk | Ge | 2.23 | |
| Gravedad específica saturada con superficie seca | Ges | 2.34 | |
| Gravedad específica aparente | Gea | 2.50 | |
| Porcentaje de absorción | Ab | 4.86 | % |

Anexo 6: Gravedad específica y absorción (Agregado Grueso).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Noviembre 2017

MATERIAL: Agregado Grueso

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM C127

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

$$Ge = \frac{A}{B - C}$$

$$Ges = \frac{B}{B - C}$$

$$Gea = \frac{A}{A - C}$$

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$$

| | | | |
|---|---|------|-----|
| Masa de la muestra saturada con superficie seca | B | 5156 | gr. |
| Masa de la muestra seca | A | 5007 | gr. |
| Masa de la muestra sumergida en agua | C | 3045 | gr. |

| | | | |
|--|-----|------|---|
| Gravedad específica Bulk | Ge | 2.37 | |
| Gravedad específica saturada con superficie seca | Ges | 2.44 | |
| Gravedad específica aparente | Gea | 2.55 | |
| Porcentaje de absorción | Ab | 2.98 | % |

Anexo 7: Contenido de Humedad.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Noviembre 2017

MATERIAL: Agregados Pétreos

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM C2216

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

CONTENIDO DE HUMEDAD

$$B = M - A$$

$$W\% = \frac{B}{A} * 100$$

| AGREGADO GRUESO | |
|------------------------------------|------|
| MASA ORIGINAL DE MUESTRA M (gr) | 5000 |
| MASA SECA DE LA MUESTRA A (gr) | 4969 |
| MASA DE AGUA B (gr) | 31 |
| PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL (W%) | 0.62 |

| AGREGADO INTERMEDIO | |
|------------------------------------|------|
| MASA ORIGINAL DE MUESTRA M (gr) | 3000 |
| MASA SECA DE LA MUESTRA A (gr) | 2937 |
| MASA DE AGUA B (gr) | 63 |
| PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL (W%) | 2.15 |

| AGREGADO FINO | |
|------------------------------------|------|
| MASA ORIGINAL DE MUESTRA M (gr) | 1000 |
| MASA SECA DE LA MUESTRA A (gr) | 967 |
| MASA DE AGUA B (gr) | 33 |
| PORCENTAJE DE HUMEDAD NATURAL (W%) | 3.41 |

Anexo 8: Abrasión (Agregado Grueso).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Noviembre 2017

MATERIAL: Agregado Grueso

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM C131/C131M

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

ENSAYO DE ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO

$$D = \frac{C}{A} \times 100$$

$$C = A - B$$

| TIPO B (11 esferas, 500 revoluciones) | | | |
|--|---|-------|-----|
| Masa inicial de la muestra | A | 5000 | gr. |
| Masa retenida en el tamiz #12 | B | 2991 | gr. |
| Masa que pasa el tamiz #12 | C | 1997 | gr. |
| Porcentaje de desgaste | D | 39.94 | % |

OBSERVACIÓN: CUMPLE siendo 50 el valor máximo.

Anexo 9: Abrasión (Agregado Intermedio).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Noviembre 2017

MATERIAL: Agregado Intermedio

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM C131/C131M

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

ENSAYO DE ABRASIÓN DEL AGREGADO INTERMEDIO

$$D = \frac{C}{A} \times 100$$

$$C = A - B$$

| TIPO C (8 esferas, 500 revoluciones) | | | |
|---|---|-------|-----|
| Masa inicial de la muestra | A | 5000 | gr. |
| Masa retenida en el tamiz #12 | B | 3264 | gr. |
| Masa que pasa el tamiz #12 | C | 1736 | gr. |
| Porcentaje de desgaste | D | 34.72 | % |

OBSERVACIÓN: CUMPLE siendo 50 el valor máximo.

Anexo 10: Equivalente de Arena.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Noviembre 2017

MATERIAL:

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM D 2419-09

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

EQUIVALENTE DE ARENA

$$Eqa = \frac{Lectura\ B}{Lectura\ A} \times 100$$

| PROBETA1 | | | |
|------------------------------------|-----|-------|-----|
| Lectura del material en suspensión | A | 4.9 | cm. |
| Lectura del material sedimentado | B | 4 | cm. |
| Equivalente de Arena | Eqa | 81.63 | |

| PROBETA2 | | | |
|------------------------------------|-----|-------|-----|
| Lectura del material en suspensión | A | 5 | cm. |
| Lectura del material sedimentado | B | 4 | cm. |
| Equivalente de Arena | Eqa | 80.00 | |

| | |
|-----------------|-------|
| PROMEDIO | 80.82 |
|-----------------|-------|

OBSERVACIÓN: CUMPLE siendo 50 el valor mínimo para tráfico pesado.

Anexo 11: Durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Noviembre 2017

MATERIAL: Agregados Pétreos

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM C88

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

DURABILIDAD A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS

| Número del Tamiz | | % Retenido Parcial del agregado | Masa de las fracciones antes del ensayo | Masa de las fracciones después del ensayo | % Que pasa (el tamiz más fino después del ensayo) | % de desgaste parcial |
|---------------------|---------|---------------------------------|---|---|---|-----------------------|
| Pasa | Retiene | | | | | |
| AGREGADO GRUESO | | | | | | |
| 1/2" | 5/8" | 27.17 | 674.30 | 635.00 | 5.83 | 1.58 |
| 3/8" | 5/16" | 26.12 | 333.90 | 290.26 | 13.07 | 3.41 |
| #4 | #5 | 35.09 | 304.90 | 267.50 | 12.27 | 4.30 |
| | | | | | Sumatoria | 9.30 |
| AGREGADO INTERMEDIO | | | | | | |
| #4 | #5 | 71.18 | 304.80 | 275.90 | 9.48 | 6.75 |
| #8 | #8 | 28.25 | 305.70 | 265.80 | 13.05 | 3.69 |
| | | | | | Sumatoria | 10.44 |
| AGREGADO FINO | | | | | | |
| #8 | #8 | 27.07 | 100.00 | 81.50 | 18.50 | 5.01 |
| #16 | #16 | 24.81 | 100.00 | 82.50 | 17.50 | 4.34 |
| #30 | #30 | 16.52 | 100.00 | 95.30 | 4.70 | 0.78 |
| #50 | #50 | 14.12 | 100.00 | 91.20 | 8.80 | 1.24 |
| | | | | | Sumatoria | 11.37 |

| RESUMEN | | |
|---------------------|-------|---|
| AGREGADO GRUESO | 9.3 | % |
| AGREGADO INTERMEDIO | 10.44 | % |
| AGREGADO FINO | 11.37 | % |
| PROMEDIO | 10.37 | % |

OBSERVACIÓN: CUMPLE siendo 12% el valor máximo de desgaste.

Anexo 12: Gravedad Específica material bituminoso AC-20.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL: Asfalto AC-20

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Quito

NORMA: ASTM D70

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

GRAVEDAD ESPECÍFICA (MÉTODO DEL PICNÓMETRO)

Gravedad específica (Gb)

$$Gb = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)}$$

Densidad (δ)

$$\delta = Gb * Wt$$

$$Wt = 997.0 \frac{kg}{m^3} \text{ a } 25^\circ C$$

| | |
|-----------------------------|----|
| Temperatura del ensayo [°C] | 25 |
|-----------------------------|----|

| | |
|--|--------|
| Masa de picnómetro + tapón secos [g] (A) | 37.134 |
| Masa del picnómetro + tapón + agua destilada [g] (B) | 62.385 |
| Masa del picnómetro + tapón + asfalto [g] (C) | 56.833 |
| Masa del picnómetro + tapón + asfalto + agua destilada [g] (D) | 62.595 |

| | |
|----|-------|
| Gb | 1.011 |
|----|-------|

| | |
|-------------------------------|---------|
| δ (kg/m ³) | 1007.74 |
|-------------------------------|---------|

Anexo 13: Ductilidad material bituminoso AC-20.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2017

MATERIAL: Asfalto AC-20

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Quito

NORMA: ASTM D113

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

DUCTILIDAD

| | |
|---------------------------------------|----|
| Temperatura de ensayo (°C) | 25 |
| Aditivo de gravedad específica | - |
| Número de replicas | 3 |

| Distancia de rotura (cm) | |
|---------------------------------|-------|
| D1 | > 100 |
| D2 | > 100 |
| D3 | > 100 |
| Promedio | > 100 |

OBSERVACIÓN: CUMPLE siendo 50 el valor mínimo.

Anexo 14: Viscosidad material bituminoso AC-20.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL: Asfalto AC-20

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Quito

NORMA: ASTM D2171

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

VISCOSIDAD

| | |
|------------------------------------|----|
| Temperatura del ensayo (°C) | 60 |
|------------------------------------|----|

| | |
|-------------------------------|-----|
| Número de viscosímetro | 100 |
|-------------------------------|-----|

| | |
|--------------------------------|------|
| Código del viscosímetro | L807 |
|--------------------------------|------|

| | Bulbo B | Bulbo C | Bulbo D | Bulbo E | Bulbo F |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| Constante del viscosímetro (Pa.s/s) | 3.18 | 1.601 | 1.066 | 0.7929 | 0.6261 |
| Tiempo de flujo (s) | 73.6 | 231.5 | 464.9 | - | - |
| Viscosidad (Pa.s/s) | 234.048 | 370.696 | 495.573 | - | - |

| | |
|-----------------------------|---------|
| Resultado del ensayo | |
| Viscosidad (Pa.s/s) | 234.048 |

OBSERVACIÓN: CUMPLE, siendo 160 el valor mínimo y 240 el valor máximo.

Anexo 15: Penetración del material bituminoso AC-20.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL: Asfalto AC-20

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Quito

NORMA: ASTM D5

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

PENETRACIÓN

| Penetraciones (décimas de mm) | |
|-------------------------------|----|
| P1 | 72 |
| P2 | 73 |
| P3 | 72 |

| | |
|-----------------|-------|
| Promedio | 72.33 |
|-----------------|-------|

| | |
|------------------------------|------|
| Índice de Penetración | -0.6 |
|------------------------------|------|

OBSERVACIÓN: CUMPLE, siendo 40 el valor mínimo.

Anexo 16: Punto de inflamación y combustión del material bituminoso AC-20.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL: Asfalto AC-20

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Quito

NORMA: ASTM D92

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

PUNTO DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN

| | |
|---------------------------|-----|
| Punto de Inflamación (°C) | 308 |
|---------------------------|-----|

| | |
|--------------------------|-----|
| Punto de Combustión (°C) | 328 |
|--------------------------|-----|

| | |
|-----------------------------|-------|
| Presión barométrica (mm Hg) | 549.0 |
|-----------------------------|-------|

| | |
|-------------------------------------|------------|
| Punto de Inflamación corregido (°C) | 315 |
|-------------------------------------|------------|

| | |
|------------------------------------|------------|
| Punto de Combustión corregido (°C) | 335 |
|------------------------------------|------------|

OBSERVACIÓN: CUMPLE siendo 232 el valor mínimo de punto de inflamación.

Anexo 17: Punto de Ablandamiento del material bituminoso AC-20.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL: Asfalto AC-20

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Quito

NORMA: ASTM D36

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

PUNTO DE ABLANDAMIENTO

| | |
|---------------------------------|----------------|
| Líquido usado en el baño | Agua Destilada |
|---------------------------------|----------------|

| | | | |
|------------------------------------|----------|----------|----------|
| | Anillo 1 | Anillo 2 | Promedio |
| Punto de ablandamiento (°C) | 48.7 | 48 | 48.4 |

Anexo 18: Horno de película delgada rodante (RTFO).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL: Asfalto AC-20

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Quito

NORMA: ASTM D 2872

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

HORNO DE PELICULA DELGADA RODANTE (RTFO)

| | |
|---|---------|
| Masa de botella 1 + asfalto antes (g) | 200.442 |
| Masa de botella 2 + asfalto antes (g) | 203.333 |
| Masa de botella 1 + asfalto después (g) | 200.401 |
| Masa de botella 2 + asfalto después (g) | 203.285 |
| Cambio de masa (%) botella 1 | 0.020 |
| Cambio de masa (%) botella 2 | 0.024 |
| Cambio de masa (%) promedio | 0.022 |

OBSERVACIÓN: CUMPLE siendo 1% el valor máximo de cambio de masa.

Anexo 19: Ductilidad (RTFO).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL: Asfalto AC-20

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Quito

NORMA: ASTM D113

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

DUCTILIDAD (RTFO)

| | |
|-----------------------------------|----|
| Temperatura de ensayo (°C) | 25 |
|-----------------------------------|----|

| | |
|---------------------------------------|---|
| Aditivo de gravedad específica | - |
|---------------------------------------|---|

| | |
|---------------------------|---|
| Número de replicas | 3 |
|---------------------------|---|

| Distancia de rotura (cm) | |
|---------------------------------|----|
| D1 | 48 |
| D2 | 48 |
| D3 | 54 |

| | |
|-----------------|----|
| Promedio | 50 |
|-----------------|----|

OBSERVACIÓN: CUMPLE siendo 50 el valor mínimo.

Anexo 20: Viscosidad (RTFO).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL: Asfalto AC-20

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Quito

NORMA: ASTM D2171

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

VISCOSIDAD (RTFO)

| | |
|-------------------------------|-------|
| Temperatura del ensayo | 60.02 |
|-------------------------------|-------|

| | |
|-------------------------------|-----|
| Número de viscosímetro | 200 |
|-------------------------------|-----|

| | |
|--------------------------------|------|
| Código del viscosímetro | K596 |
|--------------------------------|------|

| | Bulbo B | Bulbo C | Bulbo D | Bulbo E | Bulbo F |
|--|---------|----------|----------|---------|---------|
| Constante del viscosímetro (Pa.s/s) | 11.95 | 6.617 | 4.142 | 3.138 | 2.497 |
| Tiempo de flujo (s) | 73.4 | 224.6 | 457.6 | - | - |
| Viscosidad (Pa.s/s) | 877.011 | 1384.923 | 1895.255 | - | - |

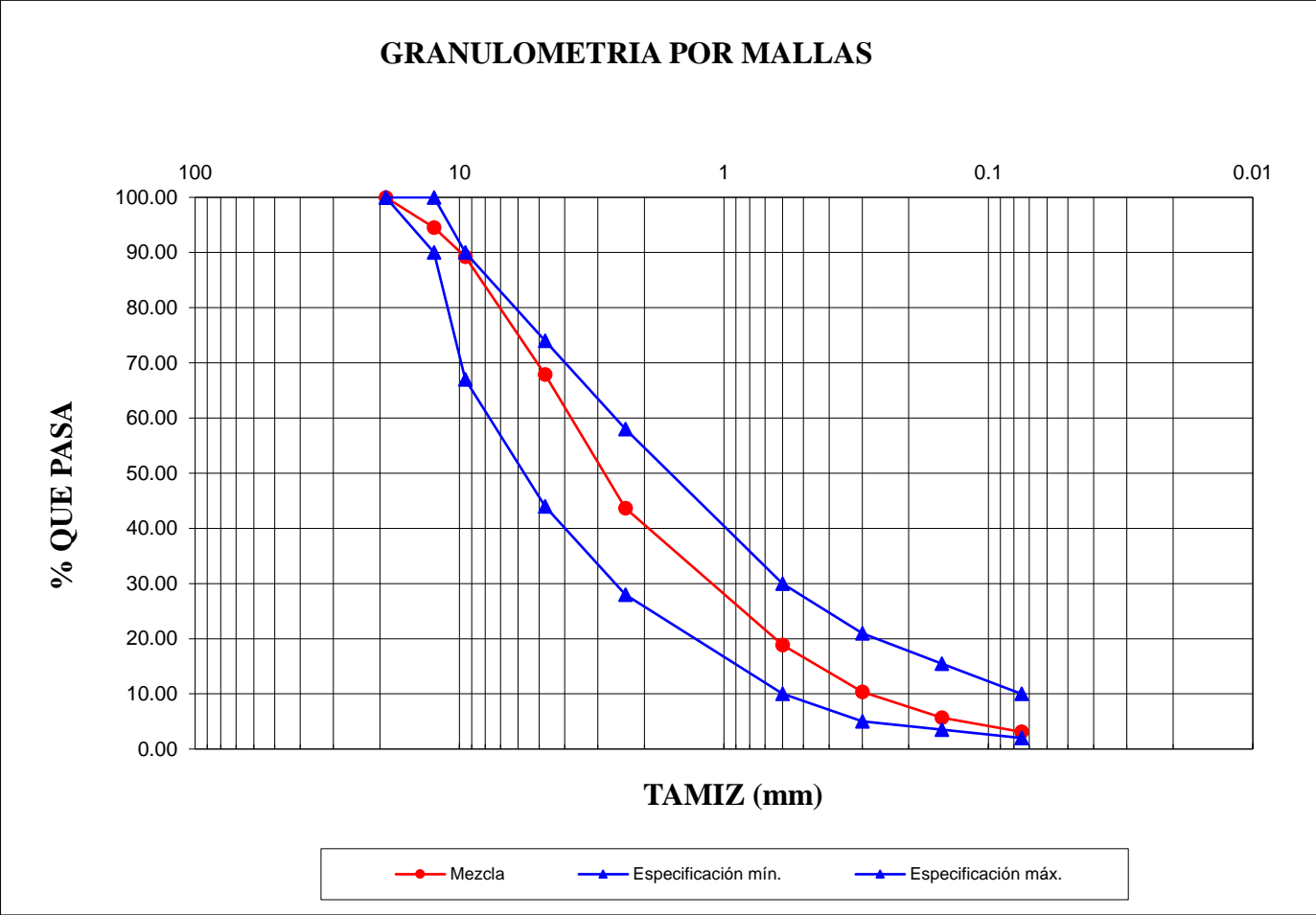
| | |
|-----------------------------|---------|
| Resultado del ensayo | |
| Viscosidad (Pa.s/s) | 877.011 |

OBSERVACIÓN: CUMPLE siendo 1000 el valor máximo.

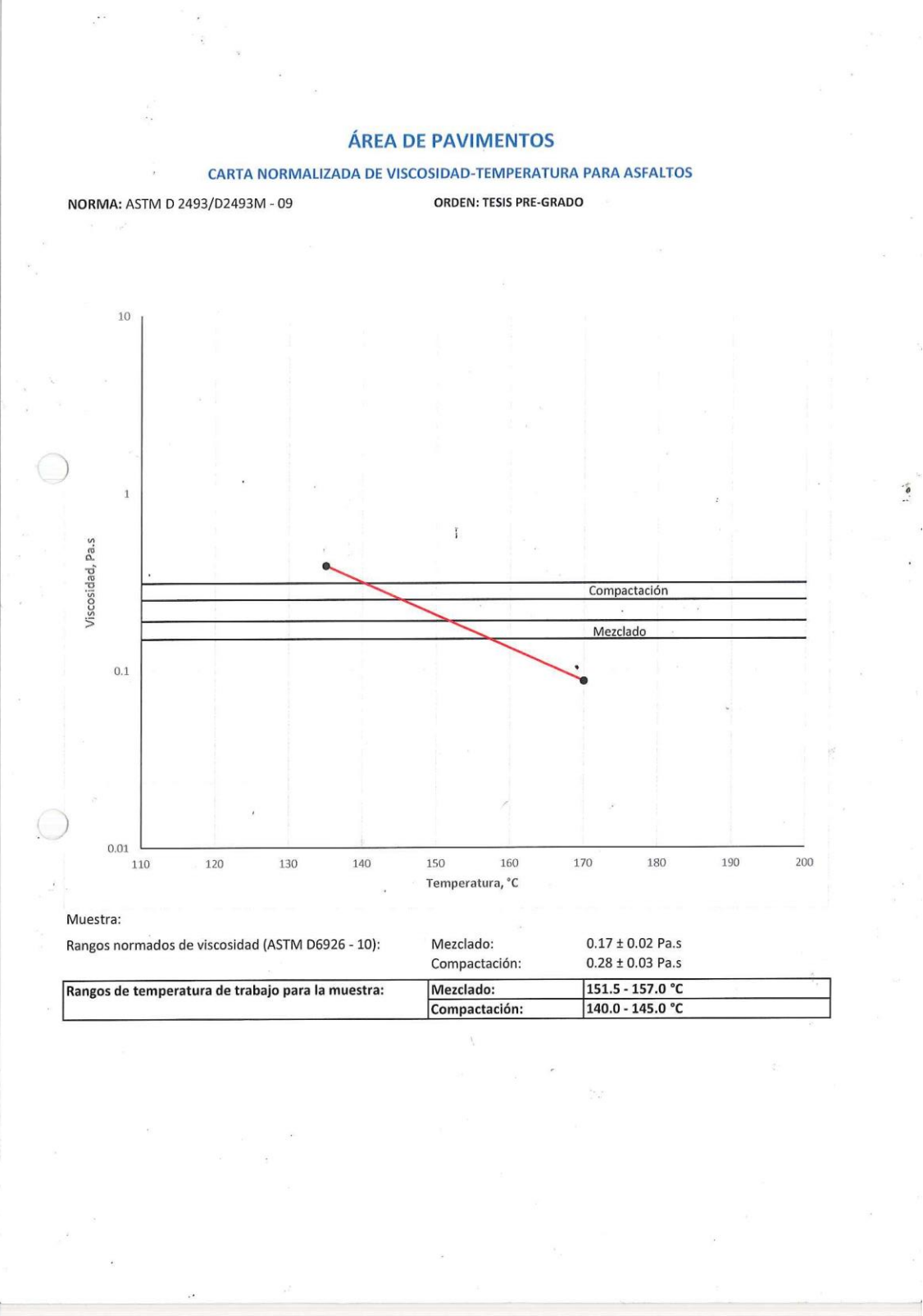
Anexo 21: Mezcla de agregados.

| Tamiz # | 1 | 3.4 | 1.2 | 3.8 | 4 | 8 | 30 | 50 | 100 | 200 | p #200 |
|------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|----------------|
| Tz mm. | 25.4 | 19 | 12.5 | 9.5 | 4.75 | 2.36 | 0.6 | 0.3 | 0.15 | 0.075 | p 0,075 |
| mat. A | 100.00 | 100.00 | 72.83 | 46.71 | 11.62 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| mat. B | 100.00 | 100.00 | 99.79 | 99.52 | 28.34 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| mat. C | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 99.83 | 72.76 | 31.43 | 17.31 | 9.51 | 5.18 | |
| mat. D | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| mezcla | 100.00 | 100.00 | 94.52 | 89.25 | 67.89 | 43.66 | 18.86 | 10.39 | 5.71 | 3.11 | |
| Ret.Ac. | 0.00 | 0.00 | 5.48 | 10.75 | 32.11 | 56.34 | 81.14 | 89.61 | 94.29 | 96.89 | 3.11 |
| Ret.Parc. | 0.00 | 0.00 | 5.48 | 5.28 | 21.36 | 24.23 | 24.80 | 8.47 | 4.68 | 2.60 | |
| % peso | 0.00 | 0.00 | 60.24 | 58.06 | 234.92 | 266.57 | 272.78 | 93.19 | 51.48 | 28.58 | |
| % acum. | 0.00 | 0.00 | 60.24 | 118.29 | 353.21 | 619.78 | 892.56 | 985.75 | 1037.23 | 1065.81 | 1100.00 |
| Espec mín | 100 | 100 | 90 | --- | 44 | 28 | --- | 5 | --- | 2 | |
| Espec máx | 100 | 100 | 100 | --- | 74 | 58 | --- | 21 | --- | 10 | |

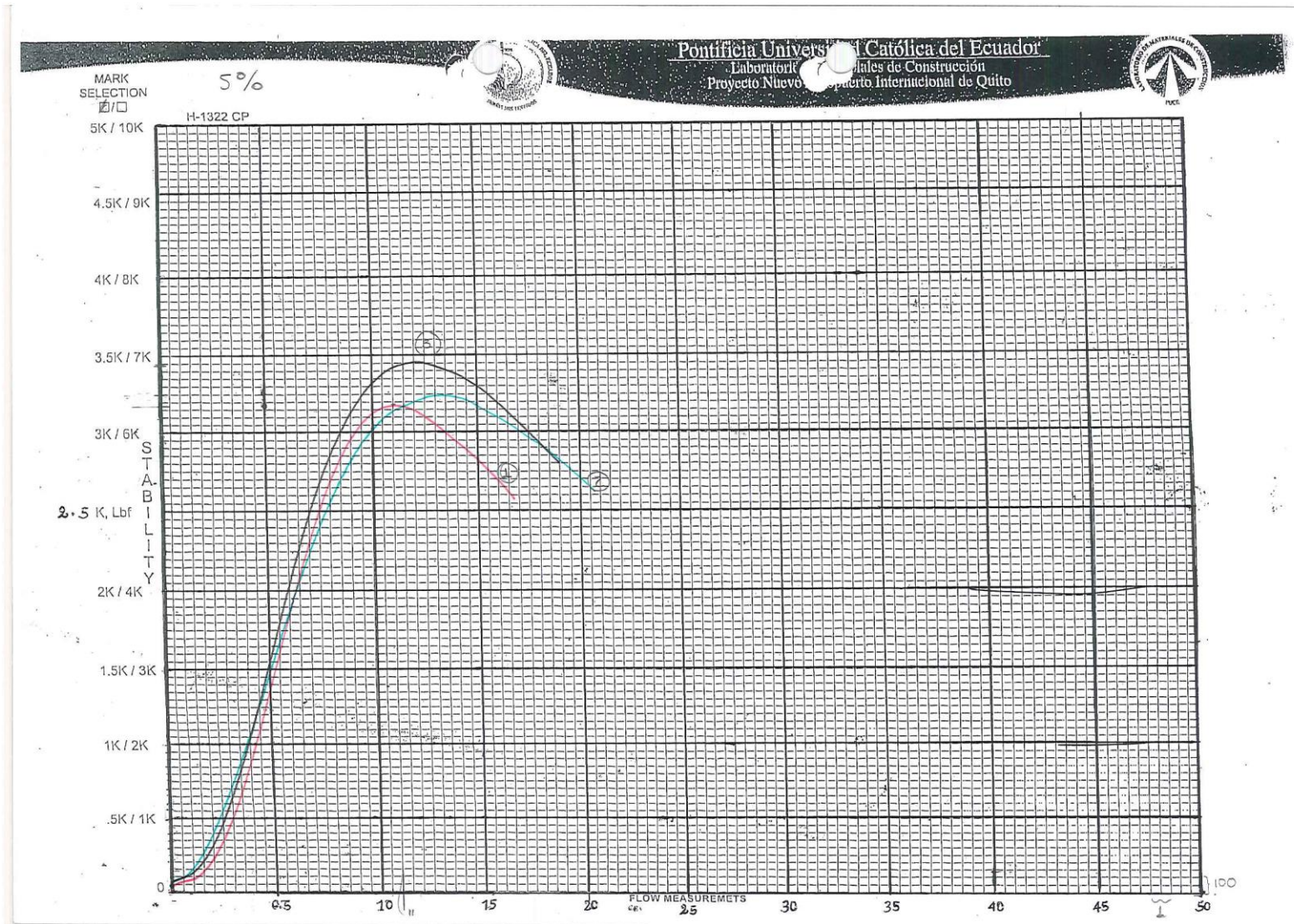
Anexo 22: Curva granulométrica de la mezcla de agregados.



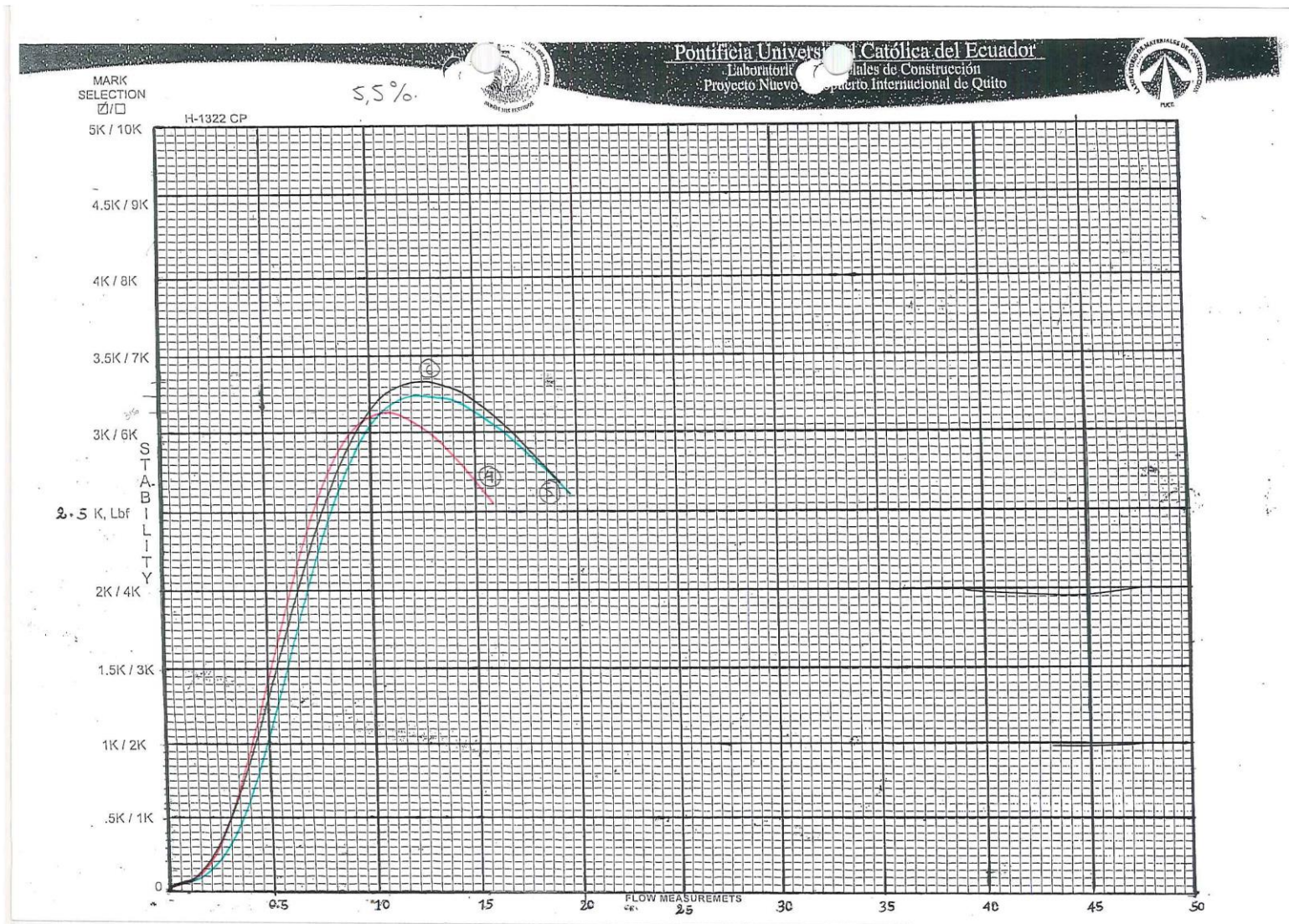
Anexo 23: Carta normalizada de viscosidad - temperatura para asfalto.



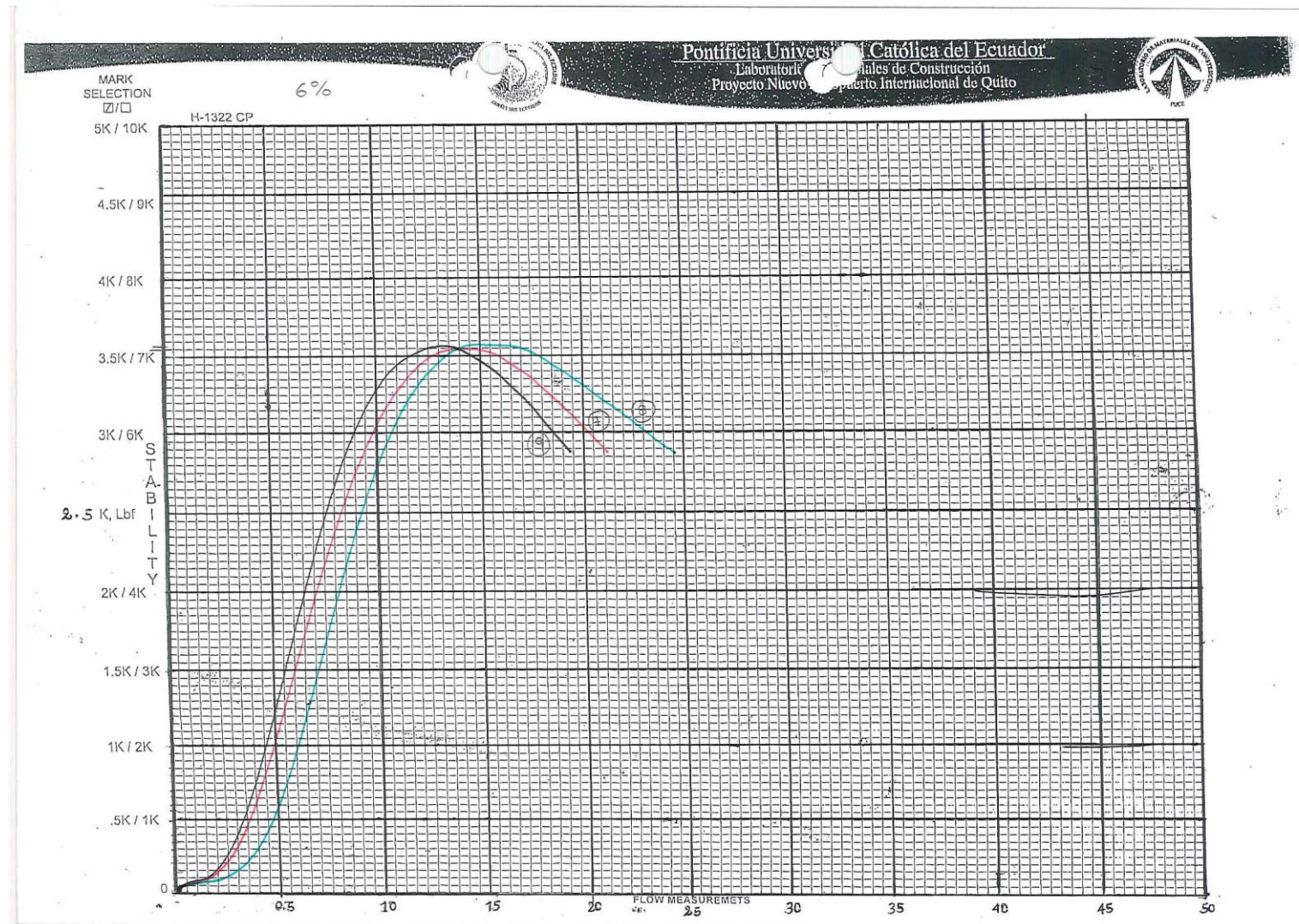
Anexo 24: Ensayo Marshall 5.0% de asfalto.



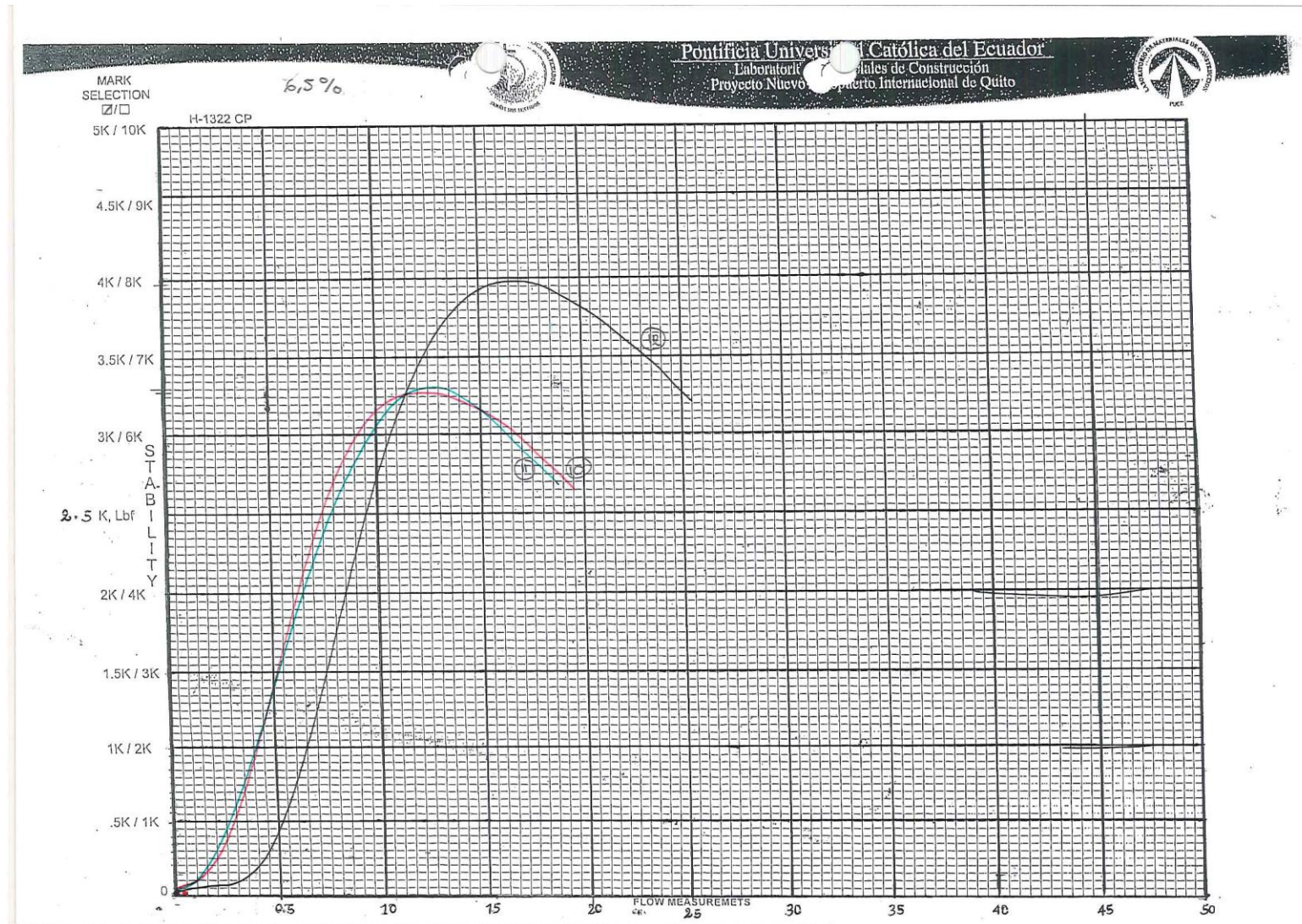
Anexo 25: Ensayo Marshall 5,5% de asfalto.



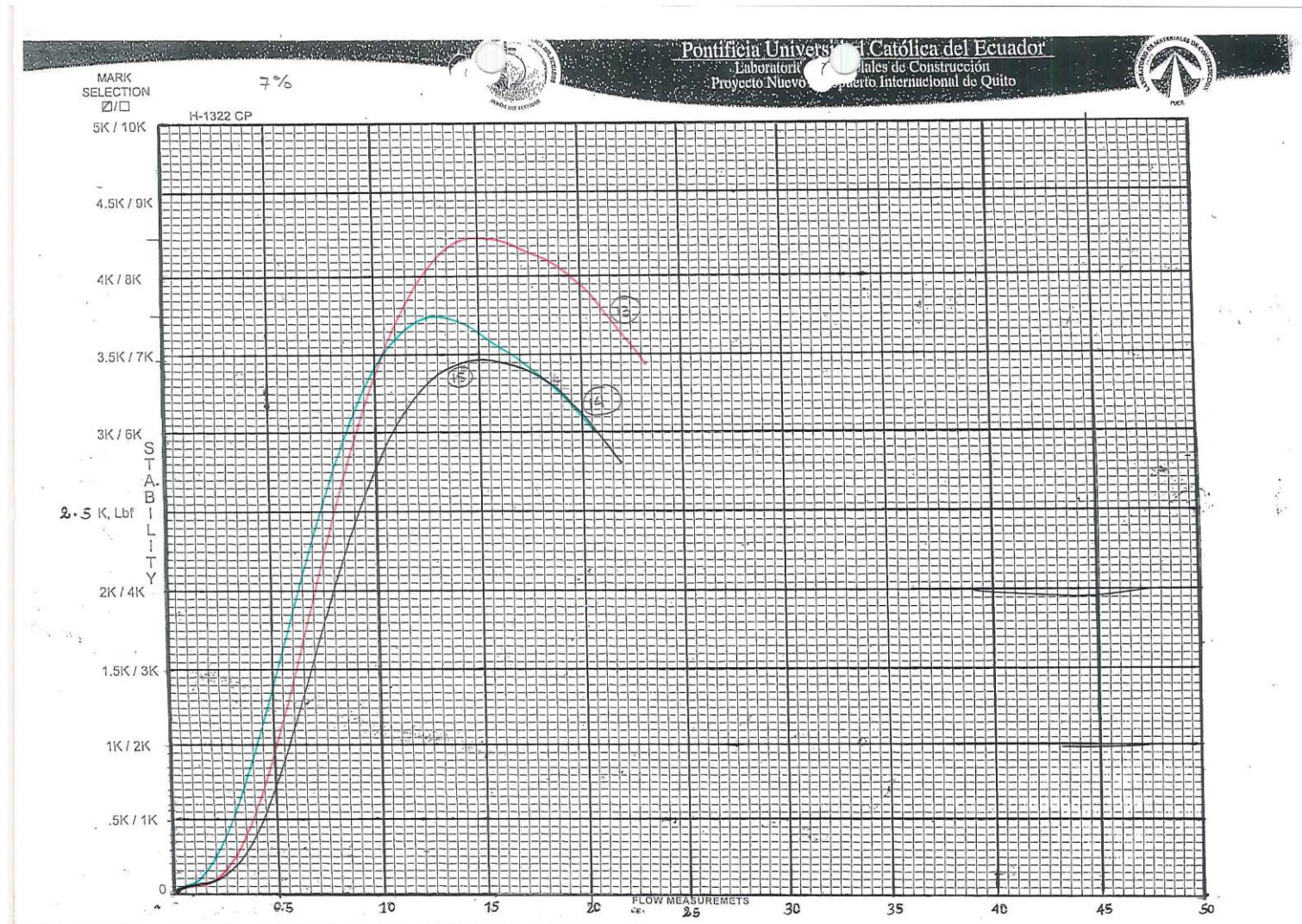
Anexo 26: Ensayo Marshall 6.0% de asfalto.



Anexo 27: Ensayo Marshall 6,5% de asfalto.



Anexo 28: Ensayo Marshall 7.0% de asfalto.



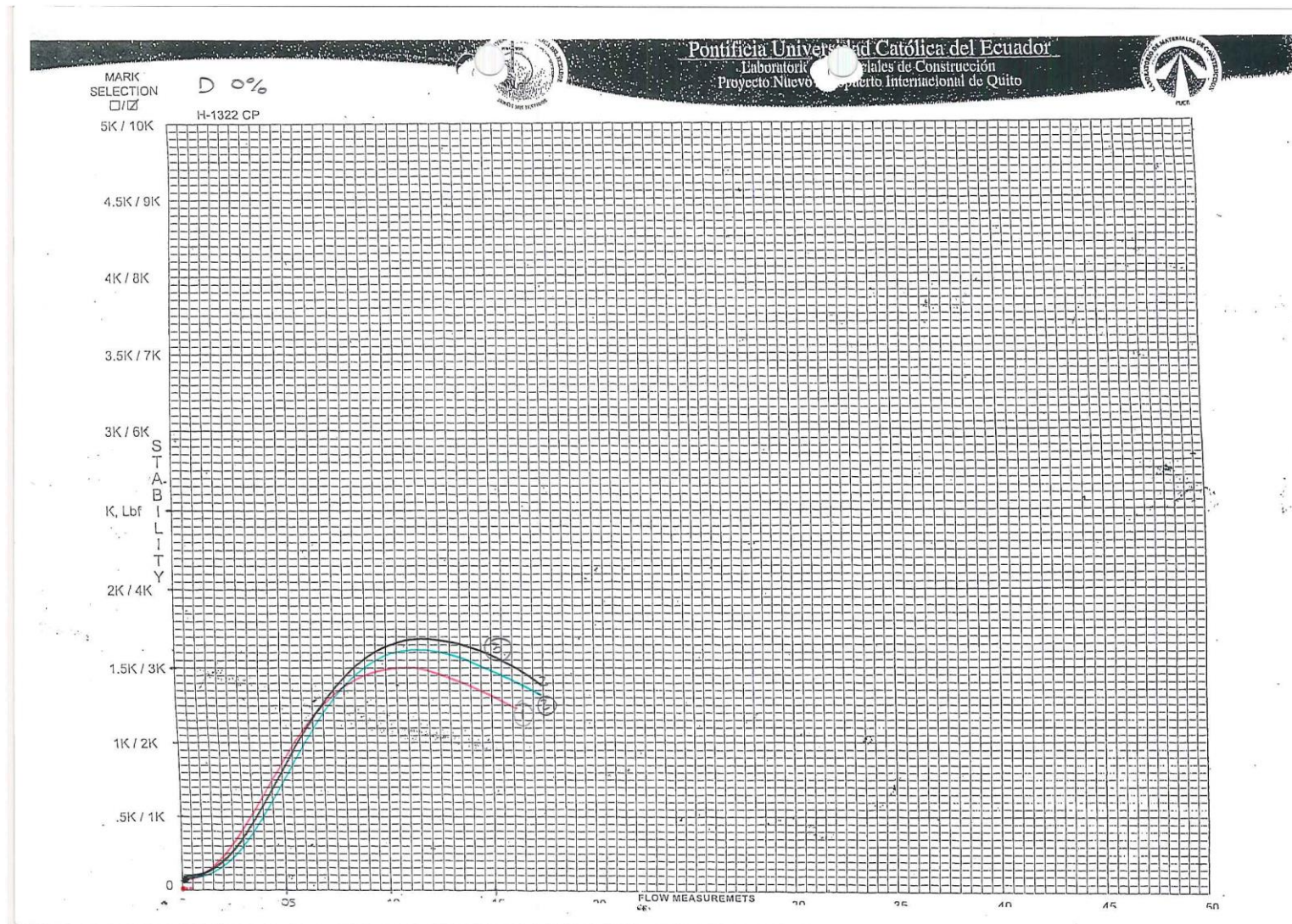
Anexo 29: Ensayo Marshall (briquetas %óptimo de asfalto).

| FECHA DE ROTURA | BRIQUETA / NUCLEO | DESCRIPCIÓN | ASTM D3549 Espesor del Especimen (mm) | Diámetro del Especimen (mm) | Masa del Especimen Seco (gr) | Masa del Especimen Sumergido (gr) | Masa del Especimen Saturado Superficie Seca (gr) | ESTABILIDAD | | | Flujo 0.01" |
|-----------------|-------------------|--------------|---|-----------------------------------|------------------------------------|---|--|-------------|-------------------------|-----------|----------------|
| | | | | | | | | Medida | Factor de Corrección | Corregida | |
| 09/03/2018 | 1 | 5% Asfalto | 71,51 | 101,55 | 1133,22 | 572,82 | 1139,69 | 3175 | 0,83 | 2635 | 11 |
| 09/03/2018 | 2 | 5% Asfalto | 71,62 | 101,90 | 1140,02 | 574,45 | 1146,79 | 3250 | 0,83 | 2698 | 13,25 |
| 09/03/2018 | 3 | 5% Asfalto | 71,56 | 100,51 | 1141,90 | 578,83 | 1147,31 | 3450 | 0,86 | 2967 | 12 |
| | | | | | | | | | | 2767 | 12 |
| 09/03/2018 | 4 | 5,5% Asfalto | 70,91 | 101,57 | 1125,38 | 572,91 | 1132,65 | 3150 | 0,83 | 2615 | 11 |
| 09/03/2018 | 5 | 5,5% Asfalto | 71,59 | 101,42 | 1148,69 | 593,73 | 1156,39 | 3250 | 0,83 | 2698 | 12,5 |
| 09/03/2018 | 6 | 5,5% Asfalto | 70,41 | 102,11 | 1148,34 | 590,96 | 1153,06 | 3350 | 0,83 | 2781 | 12,5 |
| | | | | | | | | | | 2698 | 12 |
| 09/03/2018 | 7 | 6% Asfalto | 70,32 | 101,89 | 1149,82 | 597,30 | 1154,43 | 3550 | 0,86 | 3053 | 14 |
| 09/03/2018 | 8 | 6% Asfalto | 72,24 | 101,58 | 1151,67 | 590,00 | 1159,85 | 3575 | 0,83 | 2967 | 15 |
| 09/03/2018 | 9 | 6% Asfalto | 70,84 | 101,90 | 1149,09 | 591,75 | 1153,06 | 3575 | 0,83 | 2967 | 13,25 |
| | | | | | | | | | | 2996 | 14 |
| 09/03/2018 | 10 | 6,5% Asfalto | 72,87 | 101,70 | 1155,19 | 585,90 | 1163,82 | 3275 | 0,81 | 2653 | 12,5 |
| 09/03/2018 | 11 | 6,5% Asfalto | 68,66 | 102,37 | 1134,76 | 585,93 | 1138,34 | 3300 | 0,86 | 2838 | 13 |
| 09/03/2018 | 12 | 6,5% Asfalto | 71,66 | 102,09 | 1160,04 | 599,30 | 1166,06 | 3975 | 0,81 | 3220 | 17 |
| | | | | | | | | | | 2904 | 14 |
| 09/03/2018 | 13 | 7% Asfalto | 71,59 | 101,70 | 1170,15 | 605,03 | 1174,77 | 4250 | 0,83 | 3528 | 15 |
| 09/03/2018 | 14 | 7% Asfalto | 69,71 | 101,54 | 1160,72 | 608,08 | 1163,36 | 3750 | 0,86 | 3225 | 13 |
| 09/03/2018 | 15 | 7% Asfalto | 72,18 | 101,50 | 1155,01 | 594,81 | 1163,8 | 3475 | 0,83 | 2884 | 15 |
| | | | | | | | | | | 3212 | 14 |

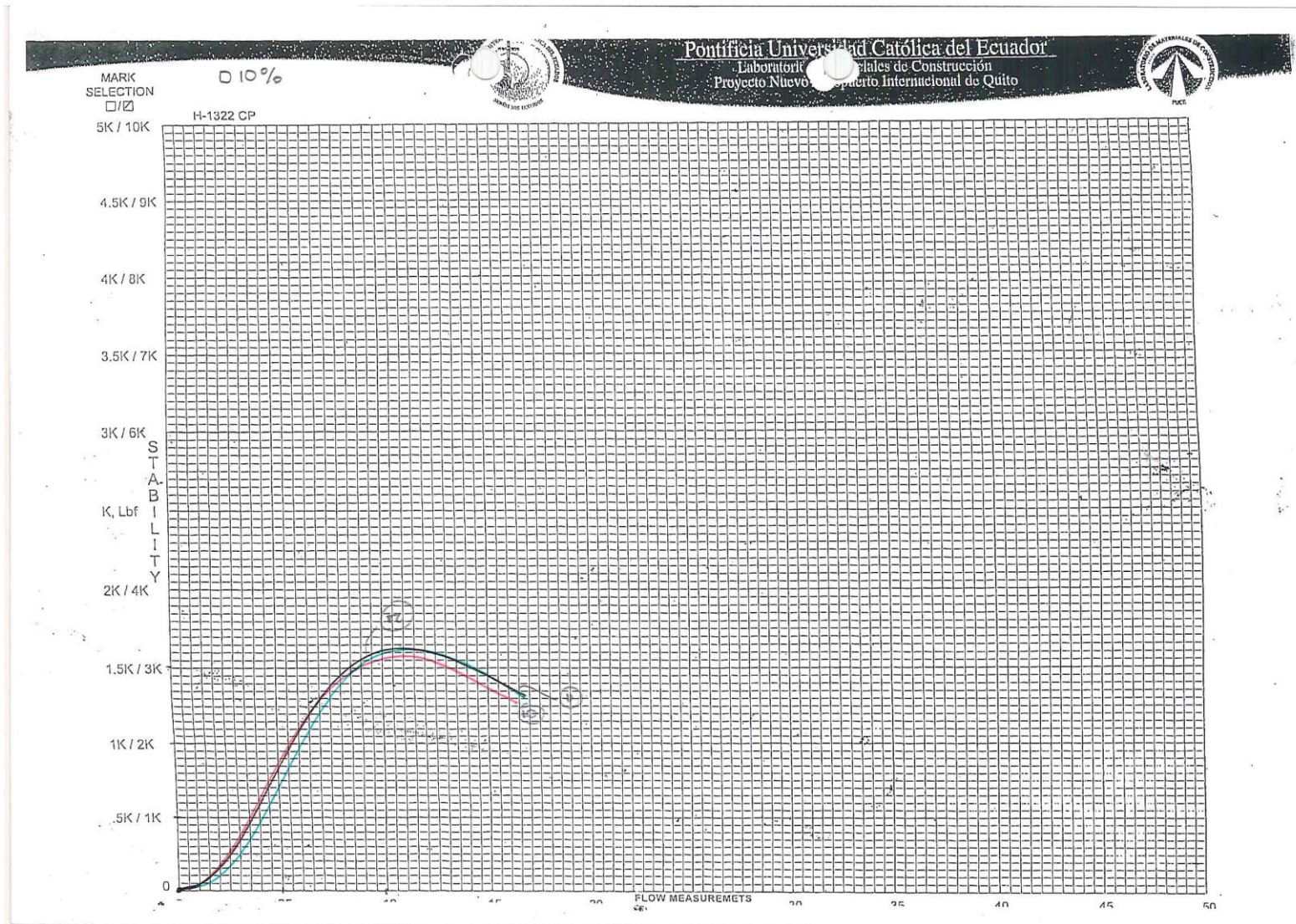
Anexo 30: Cálculos ensayo Marshall (% óptimo de asfalto).

| Mezcla | Bitumen | Factor de Corrección | Peso | | | Volumen | Densidad Bulk | gmm | Volumen | | VAM | VAF | Estabilidad | | Flujo |
|--------|---------|----------------------|---------|---------|--------|---------|---------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------------|-----------|-------|
| # | % | | Seco | sss | agua | | | g/cm3 | Va | Vagr | | | medida | Corregida | 0.01" |
| 1 | 5,0 | 0,83 | 1133,22 | 1139,69 | 572,82 | 579 | 1,999 | | | | | | 3175 | 2635 | 11 |
| 2 | | 0,83 | 1140,02 | 1146,79 | 574,45 | 584 | 1,992 | | | | | | 3250 | 2698 | 13,25 |
| 3 | | 0,86 | 1141,90 | 1147,31 | 578,83 | 568 | 2,009 | | | | | | 3450 | 2967 | 12 |
| | | | | | | 577,01 | 2,000 | 2,36 | 15,26 | 72,95 | 27,05 | 43,58 | | 2767 | 12 |
| 4 | 5,5 | 0,83 | 1125,38 | 1132,65 | 572,91 | 575 | 2,011 | | | | | | 3150 | 2615 | 11 |
| 5 | | 0,83 | 1148,69 | 1156,39 | 593,73 | 578 | 2,042 | | | | | | 3250 | 2698 | 12,5 |
| 6 | | 0,83 | 1148,34 | 1153,06 | 590,96 | 577 | 2,043 | | | | | | 3350 | 2781 | 12,5 |
| | | | | | | 576,49 | 2,032 | 2,33 | 12,80 | 73,72 | 26,28 | 51,27 | | 2698 | 12 |
| 7 | 6,0 | 0,86 | 1149,82 | 1154,43 | 597,30 | 573 | 2,064 | | | | | | 3550 | 3053 | 14 |
| 8 | | 0,83 | 1151,67 | 1159,85 | 590,00 | 585 | 2,021 | | | | | | 3575 | 2967 | 15 |
| 9 | | 0,83 | 1149,09 | 1153,06 | 591,75 | 578 | 2,047 | | | | | | 3575 | 2967 | 13,25 |
| | | | | | | 578,84 | 2,044 | 2,32 | 11,90 | 73,78 | 26,22 | 54,63 | | 2996 | 14 |
| 10 | 6,5 | 0,81 | 1155,19 | 1163,82 | 585,90 | 592 | 1,999 | | | | | | 3275 | 2653 | 12,5 |
| 11 | | 0,86 | 1134,76 | 1138,34 | 585,93 | 565 | 2,054 | | | | | | 3300 | 2838 | 13 |
| 12 | | 0,81 | 1160,04 | 1166,06 | 599,30 | 587 | 2,047 | | | | | | 3975 | 3220 | 17 |
| | | | | | | 581,22 | 2,033 | 2,28 | 10,82 | 73,00 | 27,00 | 59,92 | | 2904 | 14 |
| 13 | 7,0 | 0,83 | 1170,15 | 1174,77 | 605,03 | 582 | 2,054 | | | | | | 4250 | 3528 | 15 |
| 14 | | 0,86 | 1160,72 | 1163,36 | 608,08 | 564 | 2,090 | | | | | | 3750 | 3225 | 13 |
| 15 | | 0,83 | 1155,01 | 1163,8 | 594,81 | 584 | 2,030 | | | | | | 3475 | 2884 | 15 |
| | | | | | | 576,69 | 2,058 | 2,28 | 9,74 | 73,50 | 26,50 | 63,27 | | 3212 | 14 |

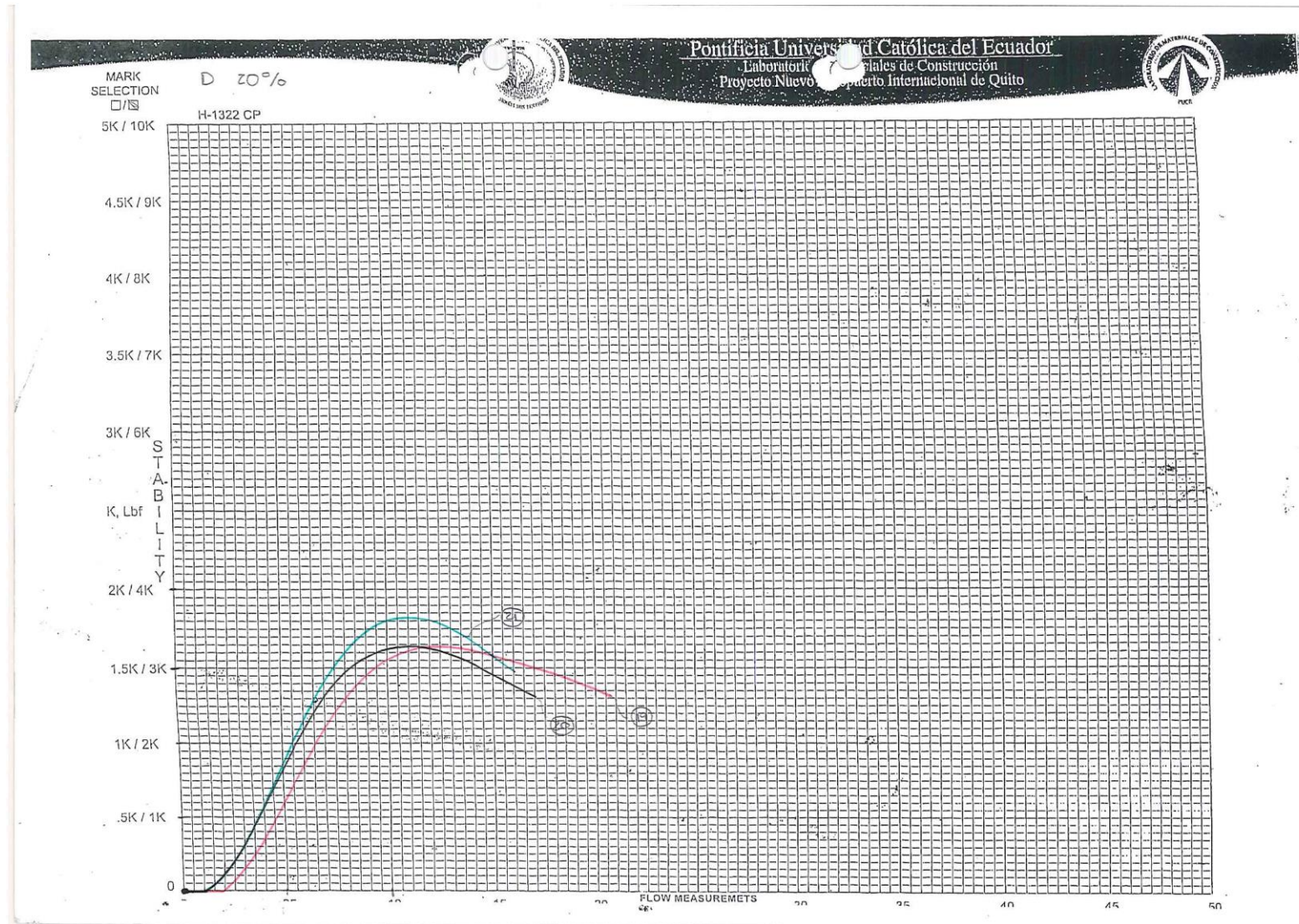
Anexo 31: Ensayo Marshall 0% Poliestireno.



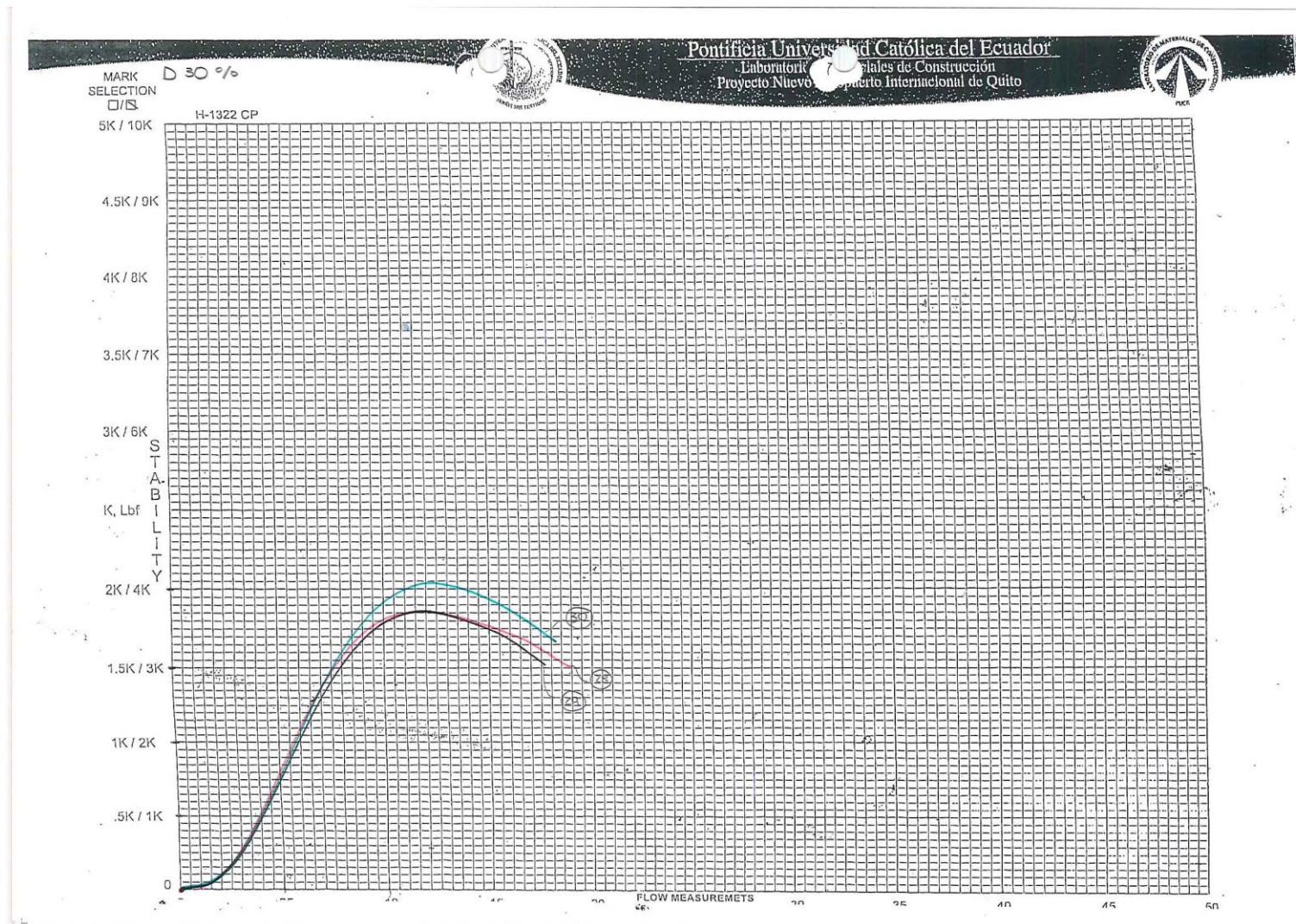
Anexo 32: Ensayo Marshall 10% Poliestireno.



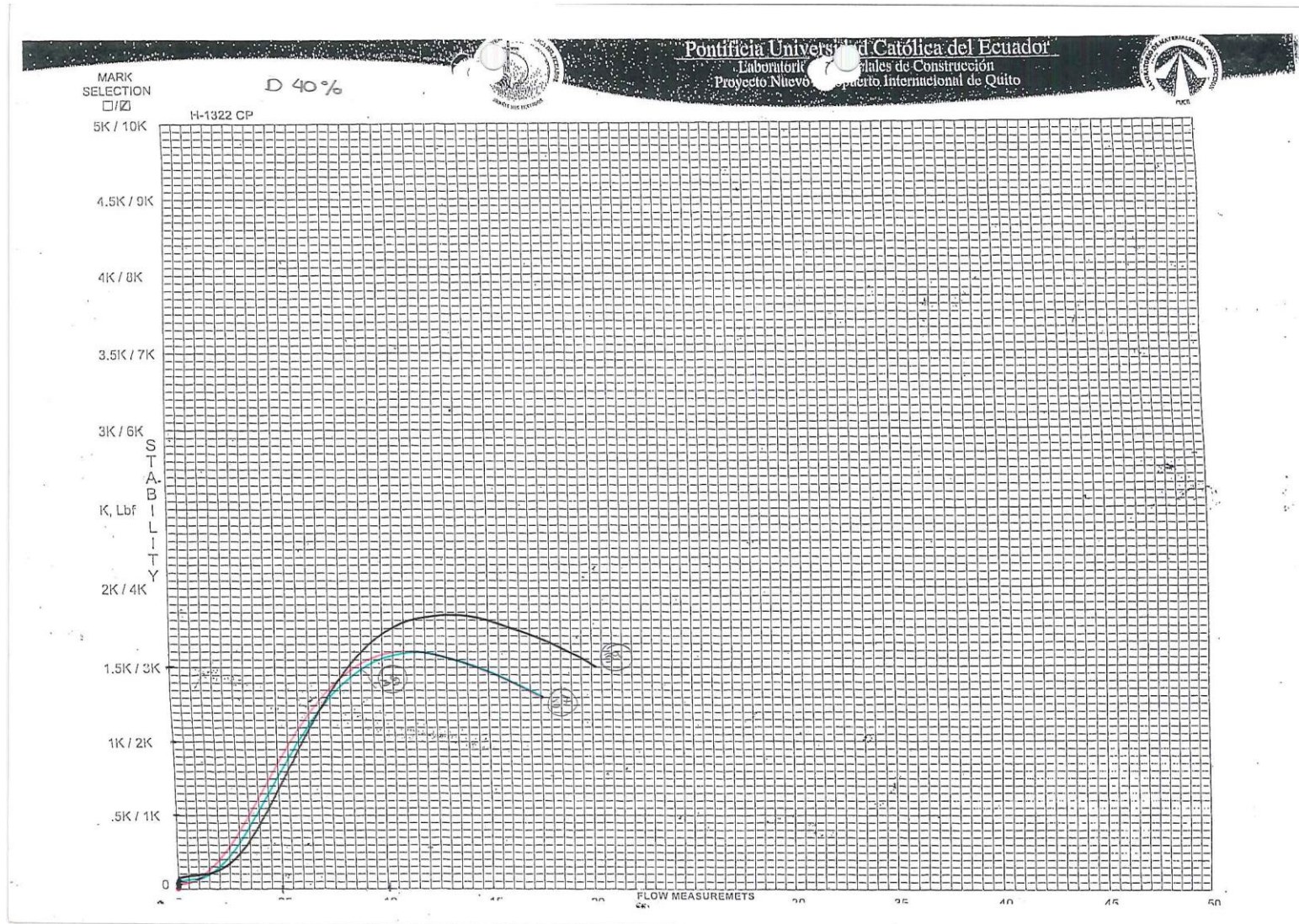
Anexo 33: Ensayo Marshall 20% Poliestireno.



Anexo 34: Ensayo Marshall 30% Poliestireno.



Anexo 35: Ensayo Marshall 40% Poliestireno.



Anexo 36: Ensayo Marshall (briquetas %óptimo de poliestireno).

| FECHA DE ROTURA | BRIQUETA / NUCLEO | DESCRIPCIÓN | ASTM D3549 Espesor del Especimen (mm) | Diámetro del Especimen (mm) | Masa del Especimen Seco (gr) | Masa del Especimen Sumergido (gr) | Masa del Especimen Saturado Superficie Seca (gr) | ESTABILIDAD | | | Flujo 0.01" |
|-----------------|-------------------|------------------|---|-----------------------------------|------------------------------------|---|--|-------------|-------------------------|-----------|----------------|
| | | | | | | | | Medida | Factor de Corrección | Corregida | |
| 20/03/2018 | 1 | 0% Poliestireno | 70,16 | 101,43 | 1142,16 | 590,82 | 1146,48 | 2900 | 0,86 | 2494 | 11 |
| 20/03/2018 | 2 | 0% Poliestireno | 70,76 | 101,46 | 1146,90 | 590,54 | 1150,15 | 3125 | 0,86 | 2688 | 11,5 |
| 20/03/2018 | 3 | 0% Poliestireno | 70,46 | 101,72 | 1151,04 | 598,38 | 1155,12 | 3280 | 0,86 | 2821 | 12 |
| | | | | | | | | | | 2667 | 12 |
| 20/03/2018 | 10 | 10% Poliestireno | 70,66 | 101,82 | 1148,28 | 591,34 | 1152,32 | 3150 | 0,83 | 2615 | 11 |
| 20/03/2018 | 11 | 10% Poliestireno | 70,43 | 101,6 | 1147,56 | 595,60 | 1152,29 | 3250 | 0,86 | 2795 | 11 |
| 20/03/2018 | 12 | 10% Poliestireno | 71,08 | 101,91 | 1155,42 | 595,84 | 1157,51 | 3250 | 0,83 | 2698 | 11 |
| | | | | | | | | | | 2702 | 11 |
| 22/03/2018 | 19 | 20% Poliestireno | 70,88 | 101,4 | 1142,48 | 583,80 | 1146,96 | 3300 | 0,86 | 2838 | 12,5 |
| 22/03/2018 | 20 | 20% Poliestireno | 71,31 | 101,52 | 1145,96 | 581,93 | 1148,92 | 3300 | 0,83 | 2739 | 11 |
| 22/03/2018 | 21 | 20% Poliestireno | 71,07 | 101,62 | 1152,82 | 589,88 | 1155,42 | 3650 | 0,83 | 3030 | 11 |
| | | | | | | | | | | 2869 | 12 |
| 22/03/2018 | 28 | 30% Poliestireno | 70,93 | 101,37 | 1146,48 | 587,53 | 1150,16 | 3700 | 0,86 | 3182 | 11 |
| 22/03/2018 | 29 | 30% Poliestireno | 70,19 | 101,59 | 1149,16 | 594,42 | 1152,90 | 3700 | 0,86 | 3182 | 12 |
| 22/03/2018 | 30 | 30% Poliestireno | 71,47 | 101,30 | 1150,45 | 586,64 | 1152,93 | 4100 | 0,83 | 3403 | 12,5 |
| | | | | | | | | | | 3256 | 12 |
| 28/03/2018 | 37 | 40% Poliestireno | 71,03 | 101,53 | 1145,16 | 586,69 | 1150,10 | 3200 | 0,83 | 2656 | 11,5 |
| 28/03/2018 | 38 | 40% Poliestireno | 72,47 | 101,46 | 1151,35 | 582,42 | 1158,60 | 3200 | 0,86 | 2752 | 11,5 |
| 28/03/2018 | 39 | 40% Poliestireno | 71,19 | 101,52 | 1151,43 | 589,92 | 1155,83 | 3675 | 0,83 | 3050 | 13 |
| | | | | | | | | | | 2819 | 12 |

Anexo 37: Cálculos ensayo Marshall (% óptimo de poliestireno).

| Mezcla | Poliestireno | Factor de Corrección | Peso | | | Volumen | Densidad Bulk | gmm | Volumen | | VAM | VAF | Estabilidad | | Flujo |
|--------|--------------|----------------------|---------|---------|--------|---------|---------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------------|-----------|-------|
| # | % | | seco | sss | agua | | | g/cm3 | Va | Vagr | | | medida | Corregida | 0.01" |
| 1 | 0 | 0,86 | 1142,16 | 1146,48 | 590,82 | 567 | 2,056 | | | | | | 2900 | 2494 | 11 |
| 2 | | 0,86 | 1146,90 | 1150,15 | 590,54 | 572 | 2,049 | | | | | | 3125 | 2688 | 11,5 |
| 3 | | 0,86 | 1151,04 | 1155,12 | 598,38 | 573 | 2,067 | | | | | | 3280 | 2821 | 12 |
| | | | | | | 570,53 | 2,057 | 2,40 | 14,27 | 79,01 | 20,99 | 32,02 | | 2667 | 12 |
| 4 | 10 | 0,83 | 1148,28 | 1152,32 | 591,34 | 575 | 2,047 | | | | | | 3150 | 2615 | 11 |
| 5 | | 0,86 | 1147,56 | 1152,29 | 595,60 | 571 | 2,061 | | | | | | 3250 | 2795 | 11 |
| 6 | | 0,83 | 1155,42 | 1157,51 | 595,84 | 580 | 2,057 | | | | | | 3250 | 2698 | 11 |
| | | | | | | 575,38 | 2,055 | 2,40 | 14,37 | 71,02 | 28,98 | 50,41 | | 2702 | 11 |
| 7 | 20 | 0,86 | 1142,48 | 1146,96 | 583,80 | 573 | 2,029 | | | | | | 3300 | 2838 | 12,5 |
| 8 | | 0,83 | 1145,96 | 1148,92 | 581,93 | 585 | 2,021 | | | | | | 3300 | 2739 | 11 |
| 9 | | 0,83 | 1152,82 | 1155,42 | 589,88 | 578 | 2,038 | | | | | | 3650 | 3030 | 11 |
| | | | | | | 578,84 | 2,029 | 2,39 | 15,09 | 62,34 | 37,66 | 59,94 | | 2869 | 12 |
| 10 | 30 | 0,86 | 1146,48 | 1150,16 | 587,53 | 592 | 2,038 | | | | | | 3700 | 3182 | 11 |
| 11 | | 0,86 | 1149,16 | 1152,90 | 594,42 | 565 | 2,058 | | | | | | 3700 | 3182 | 12 |
| 12 | | 0,83 | 1150,45 | 1152,93 | 586,64 | 587 | 2,032 | | | | | | 4100 | 3403 | 12,5 |
| | | | | | | 581,22 | 2,042 | 2,39 | 14,55 | 54,90 | 45,10 | 67,75 | | 3256 | 12 |
| 13 | 40 | 0,83 | 1145,16 | 1150,10 | 586,69 | 582 | 2,033 | | | | | | 3200 | 2656 | 11,5 |
| 14 | | 0,86 | 1151,35 | 1158,60 | 582,42 | 564 | 1,998 | | | | | | 3200 | 2752 | 11,5 |
| 15 | | 0,83 | 1151,43 | 1155,83 | 589,92 | 584 | 2,035 | | | | | | 3675 | 3050 | 13 |
| | | | | | | 576,69 | 2,020 | 2,39 | 15,41 | 46,58 | 53,42 | 71,16 | | 2819 | 12 |

Anexo 38: Gravedad específica máxima teórica (5,0% asfalto).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL:

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM D2041

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA CON 5%
DE ASFALTO**

Información general del ensayo:

| | |
|--------------------|----------|
| Número de muestras | 2 |
| Tipo de contenedor | Metálico |
| Procedimiento | en aire |

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2298.9 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8738.2 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.36 |
|---|------|

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2294.2 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8732.4 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.35 |
|---|------|

| | |
|-----------------|------|
| PROMEDIO | 2.36 |
|-----------------|------|

Anexo 39: Gravedad específica máxima teórica (5,5% asfalto).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL:

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM D2041

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA CON 5.5%
DE ASFALTO

Información general del ensayo:

| | |
|--------------------|----------|
| Número de muestras | 2 |
| Tipo de contenedor | Metálico |
| Procedimiento | en aire |

Registros de la muestra:

| | | |
|---|--------|--|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2307.6 | |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 | |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8734 | |
| Procedimiento suplementario | NO | |

| | | |
|---|------|--|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.34 | |
|---|------|--|

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2309.4 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8731.4 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.33 |
|---|------|

| | |
|-----------------|------|
| PROMEDIO | 2.33 |
|-----------------|------|

Anexo 40: Gravedad específica máxima teórica (6,0% asfalto).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL:

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM D2041

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA CON 6%
DE ASFALTO**

Información general del ensayo:

| | |
|--------------------|----------|
| Número de muestras | 2 |
| Tipo de contenedor | Metálico |
| Procedimiento | en aire |

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2334.1 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8737.5 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|-------------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.31 |
|---|-------------|

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2308.4 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8725.7 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|-------------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.32 |
|---|-------------|

| | |
|-----------------|-------------|
| PROMEDIO | 2.32 |
|-----------------|-------------|

Anexo 41: Gravedad específica máxima teórica (6,5% asfalto).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL:

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM D2041

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA CON 6.5%
DE ASFALTO**

Información general del ensayo:

| | |
|--------------------|----------|
| Número de muestras | 2 |
| Tipo de contenedor | Metálico |
| Procedimiento | en aire |

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2337.7 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8723.1 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|-------------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.27 |
|---|-------------|

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2318.5 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8721 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|-------------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.29 |
|---|-------------|

| | |
|-----------------|-------------|
| PROMEDIO | 2.28 |
|-----------------|-------------|

Anexo 42: Gravedad específica máxima teórica (7,0% asfalto).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL:

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM D2041

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA CON 7%
DE ASFALTO**

Información general del ensayo:

| | |
|--------------------|----------|
| Número de muestras | 2 |
| Tipo de contenedor | Metálico |
| Procedimiento | en aire |

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2341.6 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8726.7 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.28 |
|---|------|

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2345 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8728.5 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.28 |
|---|------|

| | |
|-----------------|------|
| PROMEDIO | 2.28 |
|-----------------|------|

Anexo 43: Gravedad específica máxima teórica (0% poliestireno).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL:

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM D2041

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA 0% DE
POLIESTIRENO**

Información general del ensayo:

| | |
|--------------------|----------|
| Número de muestras | 2 |
| Tipo de contenedor | Metálico |
| Procedimiento | en aire |

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2314.9 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8768.8 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|-------------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.41 |
|---|-------------|

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2310.5 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8757.1 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|-------------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.39 |
|---|-------------|

| | |
|-----------------|-------------|
| PROMEDIO | 2.40 |
|-----------------|-------------|

Anexo 44: Gravedad específica máxima teórica (10% poliestireno).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL:

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM D2041

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA 10% DE
POLIESTIRENO**

Información general del ensayo:

| | |
|--------------------|----------|
| Número de muestras | 2 |
| Tipo de contenedor | Metálico |
| Procedimiento | en aire |

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2312.1 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8757.4 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.39 |
|---|------|

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2312 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8763.4 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.40 |
|---|------|

| | |
|-----------------|------|
| PROMEDIO | 2.40 |
|-----------------|------|

Anexo 45: Gravedad específica máxima teórica (20% poliestireno).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL:

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM D2041

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA 20% DE
POLIESTIRENO**

Información general del ensayo:

| | |
|--------------------|----------|
| Número de muestras | 2 |
| Tipo de contenedor | Metálico |
| Procedimiento | en aire |

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2308.7 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8754.9 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.39 |
|---|------|

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2321.1 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8764 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.39 |
|---|------|

| | |
|-----------------|------|
| PROMEDIO | 2.39 |
|-----------------|------|

Anexo 46: Gravedad específica máxima teórica (30% poliestireno).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL:

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM D2041

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA 30% DE POLIESTIRENO

Información general del ensayo:

| | |
|--------------------|----------|
| Número de muestras | 2 |
| Tipo de contenedor | Metálico |
| Procedimiento | en aire |

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2318.1 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8758 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.38 |
|---|------|

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2313.3 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 2313.3 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.39 |
|---|------|

| | |
|-----------------|------|
| PROMEDIO | 2.39 |
|-----------------|------|

Anexo 47: Gravedad específica máxima teórica (40% poliestireno).



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

OBRA: Tesis

FECHA: Marzo 2018

MATERIAL:

SOLICITA: Ing. Gustavo Yáñez

UBICACIÓN: Ambato

NORMA: ASTM D2041

REALIZADO POR: Paola Fernández.
Nicolás Ruiz.

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA 40% DE POLIESTIRENO

Información general del ensayo:

| | |
|--------------------|----------|
| Número de muestras | 2 |
| Tipo de contenedor | Metálico |
| Procedimiento | en aire |

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2289.6 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8739.7 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.38 |
|---|------|

Registros de la muestra:

| | |
|---|--------|
| Masa de muestra seca en aire, gr (A) | 2212.9 |
| Masa del contenedor + tapa con agua a 25 °C, gr (D) | 7413 |
| Masa del contenedor + tapa + muestra + agua a 25 °C, gr (E) | 8706.6 |
| Procedimiento suplementario | NO |

| | |
|---|------|
| Gravedad específica máxima teórica (Gmm) | 2.41 |
|---|------|

| | |
|-----------------|------|
| PROMEDIO | 2.39 |
|-----------------|------|

